

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA
DOBLADORA DE TUBOS SEMIAUTOMÁTICA CON RODILLOS
INTERCAMBIABLES**

AUTORES:

**RAÚL ESTEBAN CUMBAL YÁNEZ
HÉCTOR JONATHAN ESPAÑA GUTIÉRREZ**

TUTOR:

LUIS CHRISTIAN JUIÑA QUILACHAMÍN

Quito, marzo del 2016

Cesión de derechos de autor

Nosotros Raúl Esteban Cumbal Yáñez con documento de identificación N° 1721486265 y Héctor Jonathan España Gutiérrez, con documento de identificación N° 1721516191, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DOBLADORA DE TUBOS SEMIAUTOMÁTICA CON RODILLOS INTERCAMBIABLES, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, marzo del 2016



Nombre: Raúl Esteban Cumbal Yáñez
Cédula: 172148626-5



Nombre: Héctor Jonathan España
Gutiérrez
Cédula: 172151619-1

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DOBLADORA DE TUBOS SEMIAUTOMÁTICA CON RODILLOS INTERCAMBIABLES, realizado por Raúl Esteban Cumbal Yánez y Héctor Jonathan España Gutiérrez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'L. Juiña', is written over a horizontal dotted line.

Luis Christian Juiña Quilachamín

Cédula de identidad: 171370450-8

Dedicatoria

El proyecto elaborado conjuntamente con mi compañero está dedicado a mis padres, quienes me han brindado un apoyo ineludible durante todo el tiempo de estudio en la universidad y en todos los momentos de mi vida.

Raúl Esteban Cumbal Yáñez

A Dios, por permitirme culminar un objetivo más en mi vida y ser él, quien puso en mi camino a la mujer más importante y extraordinaria de mi vida, mi madre, a quien le agradezco infinitamente por su apoyo incondicional en todos los momentos buenos y malos de mi vida. Por ultimo agradezco a mi hermana que fue la voz de aliento para nunca rendirme.

Héctor Jonathan España Gutiérrez

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme formar profesionalmente, de igual manera agradezco a cada uno de los docentes por impartir sus conocimientos y transmitir sus valores.

Agradezco al Ing. Luis Christian Juiña Quilachamín quien de una manera desinteresada fue el principal apoyo dentro del presente proyecto, guiando de la mejor manera para llegar a cumplir el objetivo planteado.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1	2
Marco teórico	2
1.1. Situación actual de la empresa	2
1.1.1. Estructura organizacional de la empresa.....	3
1.1.2. Servicios.....	3
1.1.3. Proveedores.....	3
1.1.4. Clientes.....	4
1.2. Infraestructura	4
1.2.1. Equipos disponibles.	6
1.3. Flujograma de contrato de trabajo.....	6
1.4. Flujograma de producción de la empresa.....	7
1.5. Diagrama de flujo del proceso de producción de carrocerías	8
1.6. Análisis del proceso de producción de carrocería.....	9
Capítulo 2.....	11
Análisis de alternativas	11
2.1. Procedimiento del conformado	11
2.2. Estudio y selección de alternativas	12
2.2.1. Dobladora de tubos manual.....	13
2.2.2. Dobladora de tubos electromecánica.	14
2.2.3. Dobladora de tubos hidráulica semiautomática.	15
2.3. Análisis y Selección de la alternativa más adecuada	16
Capítulo 3.....	18
Descripción de la máquina	18
3.1. Descripción de la máquina	18
3.2. Diseño mecánico	20
3.2.1. Fuerzas necesarias para el doblado.	20

3.2.2. Cálculos de las fuerzas de doblado.	22
3.2.3. Tuberías.....	22
3.2.4. Diseño de cargas.	24
3.2.5. Cálculo de Ejes.....	26
3.2.6. Selección de las chavetas	31
3.2.7. Selección de rodamientos.....	31
3.2.7. Cálculo de las paredes.....	34
3.2.8. Cálculo y selección del motor reductor.....	36
3.2.9. Cálculo y selección de cadena y engranajes.	37
3.2.11. Diseño del soporte móvil.	38
3.2.12. Selección del material para los rodillos	39
3.2.13. Dureza de los rodillos.....	39
3.2.14. Diseño de la bancada.....	40
3.2.15. Analisis de soldadura.	43
3.2.16. Selección de pernos.....	44
3.3. Diseño hidráulico	48
3.3.1. Cálculos y selección del cilindro.....	48
3.3.2. Selección del cilindro hidráulico.....	49
3.3.3. Selección de la central hidráulica.....	50
3.3.4. Selección de válvula para accionamiento.	50
3.3.5. Selección de manómetro	51
Capítulo 4.....	52
Análisis económico y financiero	52
4.1. Análisis económico	52
4.1.1. Costos de materia prima.....	52
4.1.2. Costos de máquina	53
4.1.3. Costos de mano de obra de la máquina.....	54
4.1.4. Costos de insumos.....	54
4.1.5. Costo de diseño	56
4.1.6. Gastos indirectos	56
4.1.7. Costo total de fabricación.....	56
4.2. Análisis financiero	57

4.2.1. Activo fijo	57
4.2.2. Mantenimiento del activo fijo	57
4.2.3. Costo de la tercerización del proceso del conformado.....	57
4.2.4. Mano de obra directa.....	58
4.2.5. Servicios básicos (luz).....	58
4.2.5. Periodo de recuperacion de inversion	60
Capítulo 5.....	61
Construcción y montaje.....	61
5.1. Construcción de paredes	61
5.2. Construcción de bocines	61
5.3. Construcción de ejes y rodillos	62
5.4. Construcción de guías	62
5.5. Construcción de bancada.....	63
5.6. Montaje general de los elementos de la máquina.....	63
Capítulo 6.....	64
Análisis de resultados.....	64
6.1 Movimiento rotacional de los ejes	64
6.2 Materiales utilizados	64
6.3 Presión ejercida por el cilindro	64
Conclusiones	66
Recomendaciones.....	67
Referencias.....	68

Índice de tablas

Tabla 1. Normas que aplica una empresa fabricante de carrocerías	2
Tabla 2. Detalle de proveedores	4
Tabla 3. Equipos disponibles	6
Tabla 4. Diagrama de flujo para la fabricación de carrocerías.	8
Tabla 5. Resumen del diagrama de flujo para la fabricación de carrocerías.....	9
Tabla 6. Análisis del proceso de producción de carrocerías.	9
Tabla 7. Alternativas para la elección de la máquina.....	12
Tabla 8. Ventajas y desventajas de la máquina dobladora manual	13
Tabla 9. Ventajas y desventajas de una dobladora electromecánica.....	14
Tabla 10. Ventajas y desventajas de una dobladora hidráulica semiautomática.....	15
Tabla 11. Selección de alternativa adecuada.....	16
Tabla 12. Alternativa seleccionada	17
Tabla 13. Propiedades mecánicas del acero A-36.....	19
Tabla 14. Propiedades mecánicas del Acero Astm A-36.....	22
Tabla 15. Propiedades y dimensiones de la tubería	23
Tabla 16. Propiedades y dimensiones de la tubería	23
Tabla 17. Factor de Seguridad	24
Tabla 18. Propiedades mecánicas del acero al carbono SAE 1045.....	26
Tabla 19. Coeficientes combinados.	28
Tabla 20. Dimensiones de las chavetas y sus alojamientos	31
Tabla 21. Propiedades de Acero SAE 4340	40
Tabla 22. Propiedades mecánicas del electrodo a utilizar.....	43
Tabla 23. Costo de materia prima	52
Tabla 24. Costo de máquina.....	53
Tabla 25. Costo de mano de obra.....	54
Tabla 26. Costo de insumos	54
Tabla 27. Costo total directos.....	55
Tabla 28. Costo total indirectos	56
Tabla 29. Costos de fabricación	56
Tabla 30. Activo fijo	57
Tabla 31. Costo de mantenimiento de la máquina	57
Tabla 32. Costo del proceso de conformado	58

Tabla 33. Costo de mano de obra del conformado.....	58
Tabla 34. Periodo de recuperación de inversión de la máquina.....	60
Tabla 35. Análisis de Tiempo.	65

Índice de figuras

Figura 1. Organigrama de la industria	3
Figura 2. Layout de la empresa	5
Figura 3. Flujograma de contratación de trabajo	6
Figura 4. Flujograma de los procesos producción	7
Figura 5. Causas de retrasos en la producción de carrocerías.....	10
Figura 6. Naturaleza de un doblado metálico.....	12
Figura 7. Dobladora de tubos manual	13
Figura 8. Dobladora de tubos electromecánica	14
Figura 9. Dobladora de tubos hidráulica semiautomática.....	15
Figura 10. Diseño tentativo de la máquina.....	18
Figura 11. Diagrama esfuerzo – deformación para un acero A-36.....	19
Figura 12. Proceso de doblado.....	20
Figura 13. Fuerzas presentes en el doblado	20
Figura 14. Fuerzas de rozamiento.....	25
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre del eje inferior.....	26
Figura 16. Diagramas de corte y momento flector del eje inferior	27
Figura 17. División de los ejes en cinco secciones	28
Figura 18. Deflexión del eje inferior.....	28
Figura 19. Diagrama de cuerpo libre del eje superior.....	29
Figura 20. Diagramas de corte y momento flector del eje superior.....	30
Figura 21. Coeficientes dinámicos para selección de rodamientos.....	32
Figura 22. Factor de velocidad.....	33
Figura 23. Dimensiones del rodamiento	34
Figura 24. Corte a la pared principal.....	35
Figura 25. Condiciones de trabajo de motores.....	38
Figura 26. Soporte móvil	39
Figura 27. Aceros y sus aplicaciones	40
Figura 28. Diseño de la bancada	41
Figura 29. Carga distribuida.....	41
Figura 30 Diagrama de esfuerzos cortantes	42
Figura 31. Diagrama de momentos	42
Figura 32. Selección de perfil	43
Figura 33. Punto crítico de soldadura	44

Figura 34. Dimensiones del perno	45
Figura 35. Características de pernos métricos.....	46
Figura 36. Selección del cilindro hidráulico	50
Figura 37. Selección de la central hidráulica	50
Figura 38. Selección de válvula de accionamiento	51
Figura 39. Selección de manómetro.....	51
Figura 40. Tarifario empresa eléctrica Quito	58
Figura 41. Construcción de paredes	61
Figura 42. Construcción de bocines	61
Figura 43. Construcción de ejes y rodillos.....	62
Figura 44. Construcción de guías.....	62
Figura 45. Construcción de bancada	63
Figura 46. Montaje total.....	63

Resumen

El presente proyecto comprende el diseño y construcción de una máquina hidráulica dobladora de tubos semiautomática con rodillos intercambiables para uso exclusivo de la empresa “Carrocerías Pedrotti”. Como parte inicial se efectuó un estudio acerca de la situación actual de la empresa para conocer y analizar, en cuánto afecta, no tener el control del proceso de conformado, se busca también que la empresa mencionada preste el servicio de conformado.

Se realizó un análisis de alternativas donde se plantearon varias opciones y se determina como mejor opción una dobladora de tubos hidráulica semiautomática. El diseño de la máquina se conforma de tres rodillos acoplados a sus respectivos ejes, se utiliza como material de diseño el acero de transmisión 1045, para la transmisión del movimiento a los ejes se utilizó un motor eléctrico conformado con un reductor y su transmisión se diseñó por medio de cadena piñón que fue la mejor alternativa que se pudo establecer. De acuerdo a las necesidades que la empresa presenta, es decir, la variedad de conformado de tubos y perfiles que se utilizan en la fabricación de carrocerías se construye y se diseña el siguiente proyecto.

Por último, para la realización de planos respectivos de la máquina y sus componentes se utilizó un paquete de modelado 3D.

Abstract

This project will present the design and construction of a semiautomatic hydraulic machine to bend tubes with interchangeable rolls for the exclusive use of the “Carrocerías Pedrotti” company. In the first part of this project, a research was made in order to know and analyze the effects of how not to have the process of metal conforming affects the company. Additionally, the company is interested is to give this service to its clients.

According to the results obtained in the previous analysis, it was determined that the best option was to build a semiautomatic hydraulic machine with interchangeable rolls to bend tubes using steel conforming method. The structure of the machine consists in three rolls coupled to their axes. The materials to design the axes was transmission steel 1045, an engine together with a speed reducer to move the axes, and a pinion chain to connect the engine with the axes and give them move. The following project was created according to the necessities that the company has to construct bodyworks using the metal conforming process.

Finally, to design the machine diagrams and its components a modelling 3D software was used.

Introducción

Anteriormente para poder doblar tubos se lo hacía de forma manual o artesanal lo que originaba en el operario dificultad para realizar el trabajo, debido a esto se producía grandes pérdidas de tiempo y baja calidad de doblado.

En la actualidad se han creado máquinas convencionales que permiten optimizar tiempo, ahorrar dinero y tomar el control del proceso de forma apropiada, lo que resulta beneficioso en aspectos económicos y técnicos.

En vista de un requerimiento de la empresa carrocerías Pedrotti surge la necesidad de diseñar y construir una máquina hidráulica dobladora de tubos semiautomática que permita optimizar y controlar el proceso de conformado, mediante la implementación de la máquina se proyecta obtener mejores resultados de calidad, tiempo y dinero, se aumenta así la productividad de la empresa.

Capítulo 1

Marco teórico

1.1. Situación actual de la empresa

La empresa carrocerías Pedrotti como industria “PYMES” se encuentra en funcionamiento desde el año 2003 y su estado actualmente es activo, su único dueño formó la organización con su propio capital, se inicia así la constitución de la misma, se empieza con la incursión en la fabricación de carrocerías.

En la actualidad la empresa cuenta con una gran cantidad de clientes tanto para la fabricación de tolvas, y carrocerías tipo: urbano, turismo, escolar, intraprovincial e interprovincial, se ha mejorado el diseño y construcción, que cumple las normas vigentes para obtener un producto de calidad.

En la tabla 1 se muestran las normas actuales vigentes de calidad para la fabricación de carrocerías.

Tabla 1.

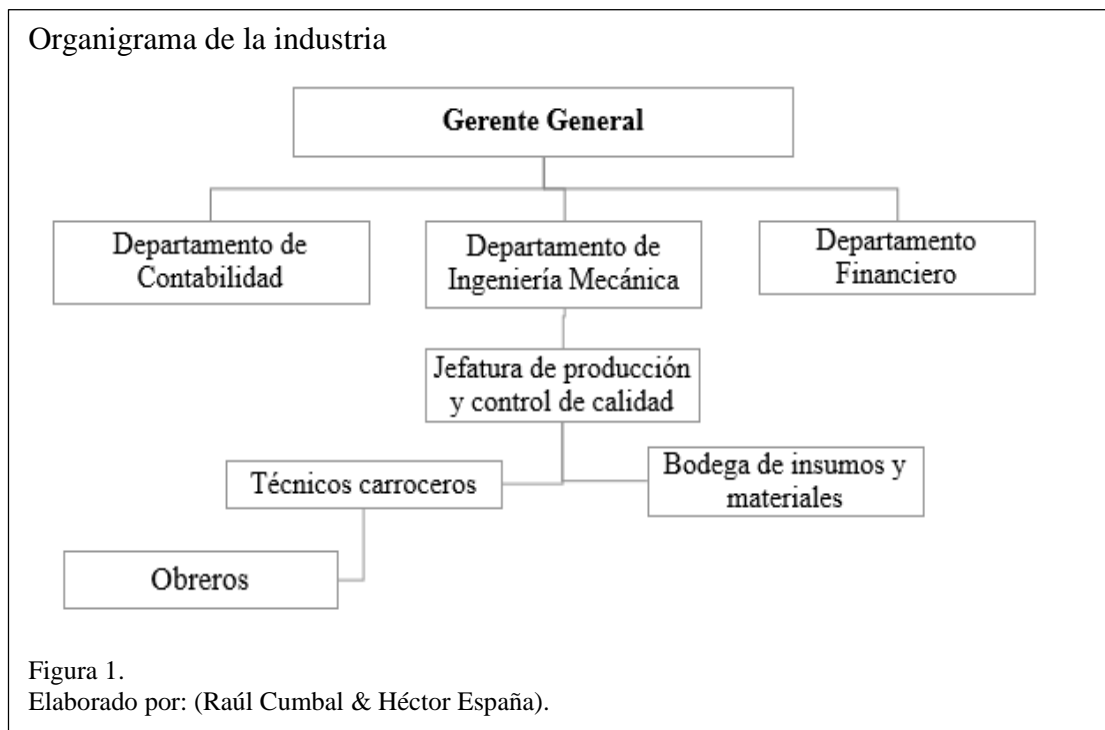
Normas que aplica una empresa fabricante de carrocerías

Norma técnica ecuatoriana	Numeral
Vehículos automotores. Fabricantes de carrocerías metálicas para vehículos de transporte de pasajeros. Requisitos. Primera edición.	NTE INEN 2664:2013
Bus interprovincial e intraprovincial. Primera edición.	RTE INEN 043:2010
Vehículos de transporte escolar. Primera edición	RTE INEN 041:2010
Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos.	NTE INEN 1323:2009
Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.	RTE INEN 034:2010
Vehículos automotores. Bus Urbano. Requisitos.	NTE INEN 2205:2010
Clasificación vehicular	NTE INEN 2656:2012
Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad. Primera edición	NTE INEN 1155:2009

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España).

1.1.1. Estructura organizacional de la empresa.

En la figura 1 se presenta la estructura organizacional de la empresa, se considera la relación jerárquica de la organización.



1.1.2. Servicios.

Los servicios ofertados por la empresa son los siguientes:

- Fabricación de carrocerías tipo intraprovincial, interprovincial, turismo, escolar, y urbano.
- Fabricación de tolvas.
- Reparación y mantenimiento de carrocerías.

1.1.3. Proveedores.

La organización cuenta con una gran cartera de proveedores de materia prima, insumos y maquinaria, en la tabla 2 se detalla cada uno de los actuales abastecedores de la organización.

Tabla 2.
Detalle de proveedores

Detalle	Proveedores
Accesorios	Auto lujos Jamacars
Accesorios	Distriaccesorios
Aceros	Macflowit S.A.
Aceros	Dipac
Aceros	Aceroscenter Cía. Ltda.
Asientos	Talleres Vargas
Equipos de refrigeración	Cold King
Insumos industriales	Cietac
Material eléctrico	Distribuidora eléctrica industrial
Elementos normalizados	Castillo Hermanos
Parabrisas	Charlie Carglass Cía. Ltda.
Pintura	Maxicolor
Pintura	Pintulac

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España).

1.1.4. Clientes.

Carrocerías Pedrotti mediante una calidad en el proceso de fabricación, selección de proveedores, tiempo de entrega, ha conseguido que los clientes obtengan una gran satisfacción en sus servicios y productos, a continuación, se presenta los clientes de mayor frecuencia en la organización.

- Trans alamor
- Recrear
- Produeventos S.A.
- Automotores continental
- Cbsing S.A.
- Colpisa motriz S.A.
- JAC
- Transporsel
- Emaseo Quito

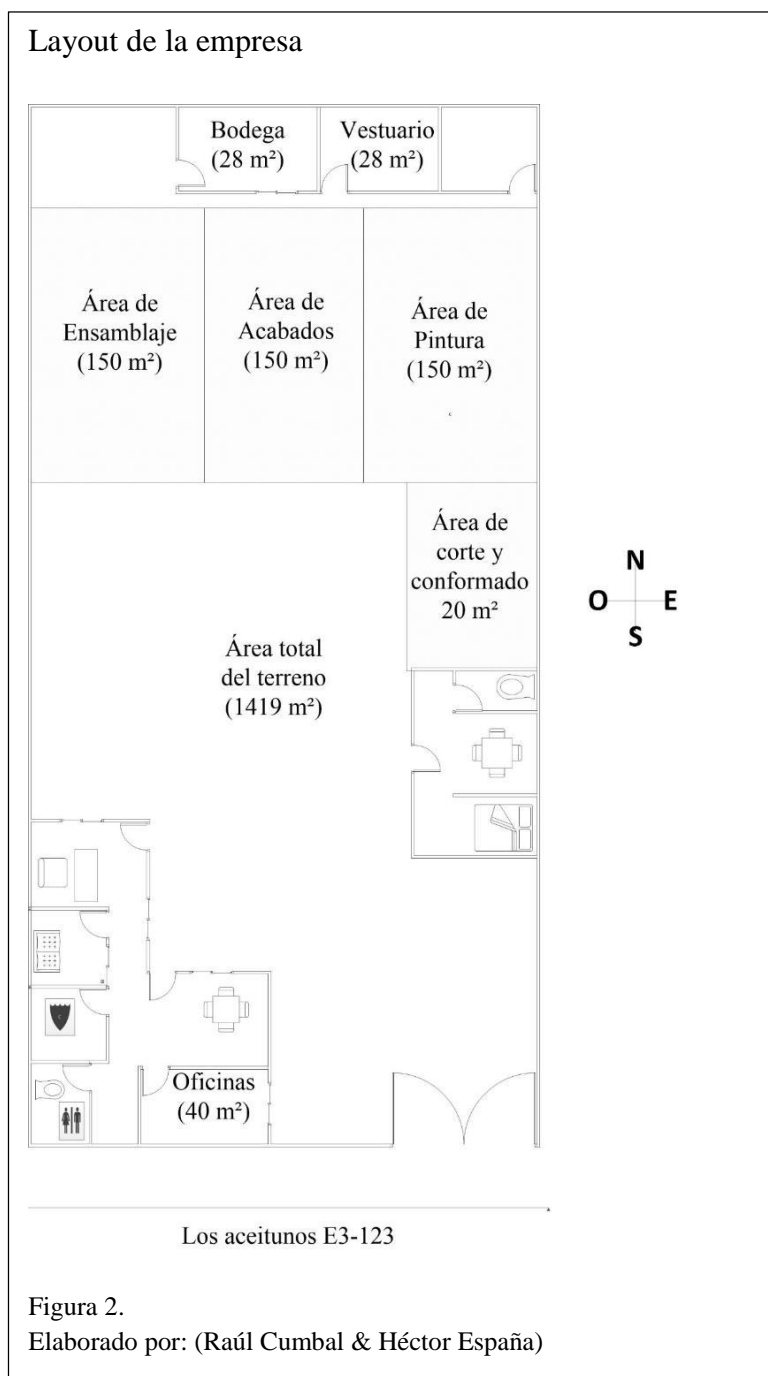
1.2. Infraestructura

La empresa cuenta con los espacios físicos para los diferentes tipos de procesos en la producción de carrocerías que se detalla a continuación:

- Bodega de materiales, herramientas e insumos.

- Ensamblaje de la estructura.
- Pintura.
- Acabados.
- Manejo de desechos.
- Administrativo.
- Cálculo y diseño estructural.
- Corte y conformado de materiales.

En la figura 2. se detalla el layout de la empresa con su respectivo dimensionamiento.



1.2.1. Equipos disponibles.

La tabla 3 describe los equipos disponibles que actualmente la organización dispone para el manejo en la producción.

Tabla 3.

Equipos disponibles

Cantidad	Descripción	Características
5	Sueldas mig	Prowar mig 350F
4	Sueldas Eléctricas	Arc well ac 225
1	Cizalla	Corte máximo de 5 mm
1	Compresor	Campbell (AGM03) 135 PSI / 240V - 15 A
5	Amoladora	DEWALT D284076-B3/ 6500 rpm
4	Lijadoras	DEWALT D26451/12000 rpm

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

1.3. Flujograma de contrato de trabajo

En la figura 3 se define el flujo de los procesos que permiten tanto a la empresa como el cliente finiquitar un acuerdo con un contrato de trabajo.

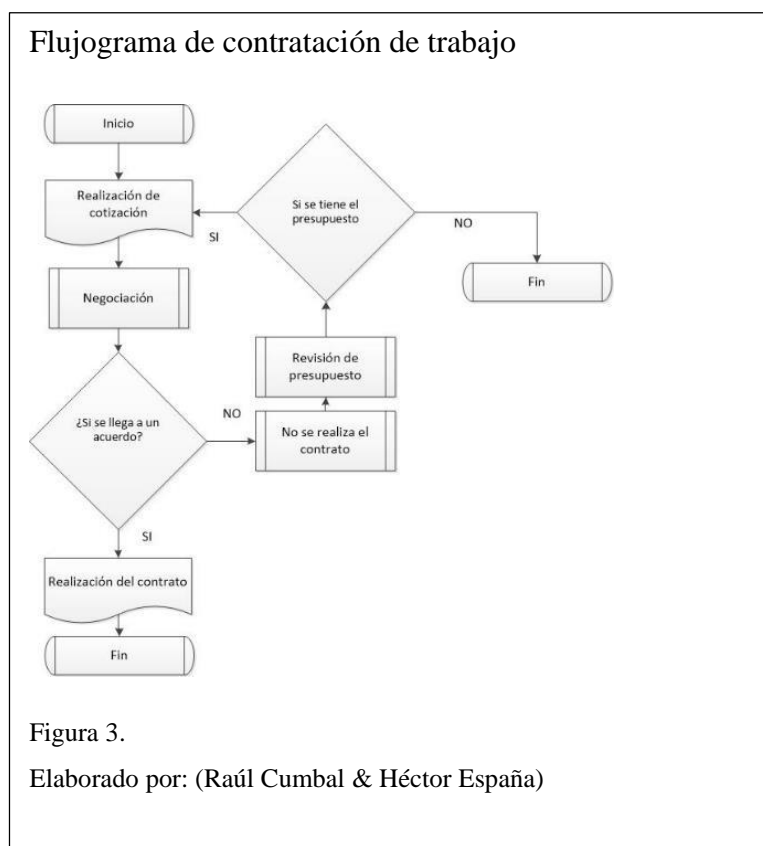
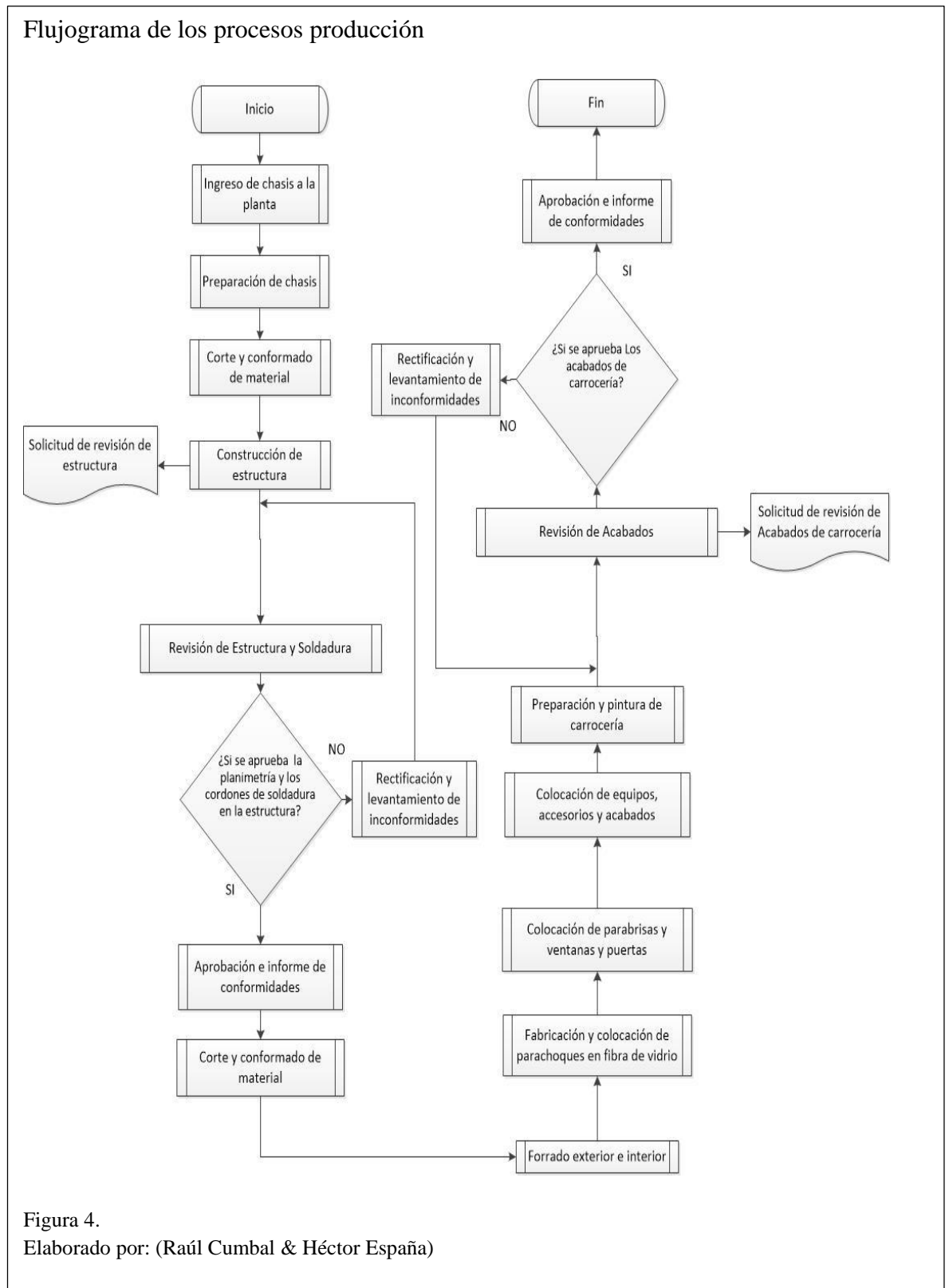


Figura 3.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

1.4. Flujograma de producción de la empresa

En la figura 4 se plantea el diagrama de flujo con cada uno de los procesos de producción que realiza la empresa.



1.5. Diagrama de flujo del proceso de producción de carrocerías

El diagrama de flujo permite observar, determinar el tiempo y analizar cada uno de los procesos. Actualmente la empresa cuenta con los siguientes procesos de producción para la fabricación de carrocerías como se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4.

Diagrama de flujo para la fabricación de carrocerías.

Nº	Descripción	●	➡	⬤	▼	■	Recorrido km	Tiempo hrs
01	Realización del contrato de trabajo	●					0	1
02	Ingreso de chasis a la planta		●				0	1
03	Preparación de chasis	●					0	3
04	Contratación para corte y conformado	●					0	6
05	Corte y conformado	●					0	24
06	Espera de material conformado		●				0	48
07	Transporte de material doblado			●			5	2
08	Entrega y almacenamiento de material				●		0	2
09	Corte de material para estructura	●					0	8
10	Construcción de estructura	●					0	40
11	Solicitud de revisión de estructura	●					0	1
12	Revisión de estructura y soldadura					●	0	3
13	Corte de material para forrado	●					0	12
14	Forrado exterior e interior	●					0	75
15	Fabricación y colocación de parachoques en fibra de vidrio	●					0	24
16	Colocación de parabrisas y ventanas y puertas	●					0	8
17	Colocación de equipos, accesorios	●					0	8
18	Preparación y pintura de carrocería	●					0	16
19	Solicitud de revisión de acabados	●					0	1
20	Revisión de acabados					●	0	2
21	Aprobación de conformidades	●					0	1
22	Entrega de vehículo	●					0	2
23	Entrega de factura	●					0	1
TOTAL		17	2	1	1	2	5	289

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Tabla 5.

Resumen del diagrama de flujo para la fabricación de carrocerías.

Descripción	Tiempo/hrs	Recorrido/km
Operación	231	0
Transporte	49	5
Espera	2	0
Almacenamiento	2	0
Inspección	5	0

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

1.6. Análisis del proceso de producción de carrocería

El diagrama de Pareto es una gráfica de barras que clasifica, en forma descendente, el tipo de fallas o factores que analizan en función de su frecuencia o de su importancia absoluta y relativa.

Permite observar en forma acumulada la incidencia total de fallas o factores de análisis. Esta técnica parte del principio de que con frecuencia sólo una parte (20%) de los problemas que tiene una organización provocan la mayor parte (80%) de las consecuencias negativas. (Fleitman, 2007, pág. 63)

En la tabla 6 se analiza y evalúa el proceso de producción de carrocerías:

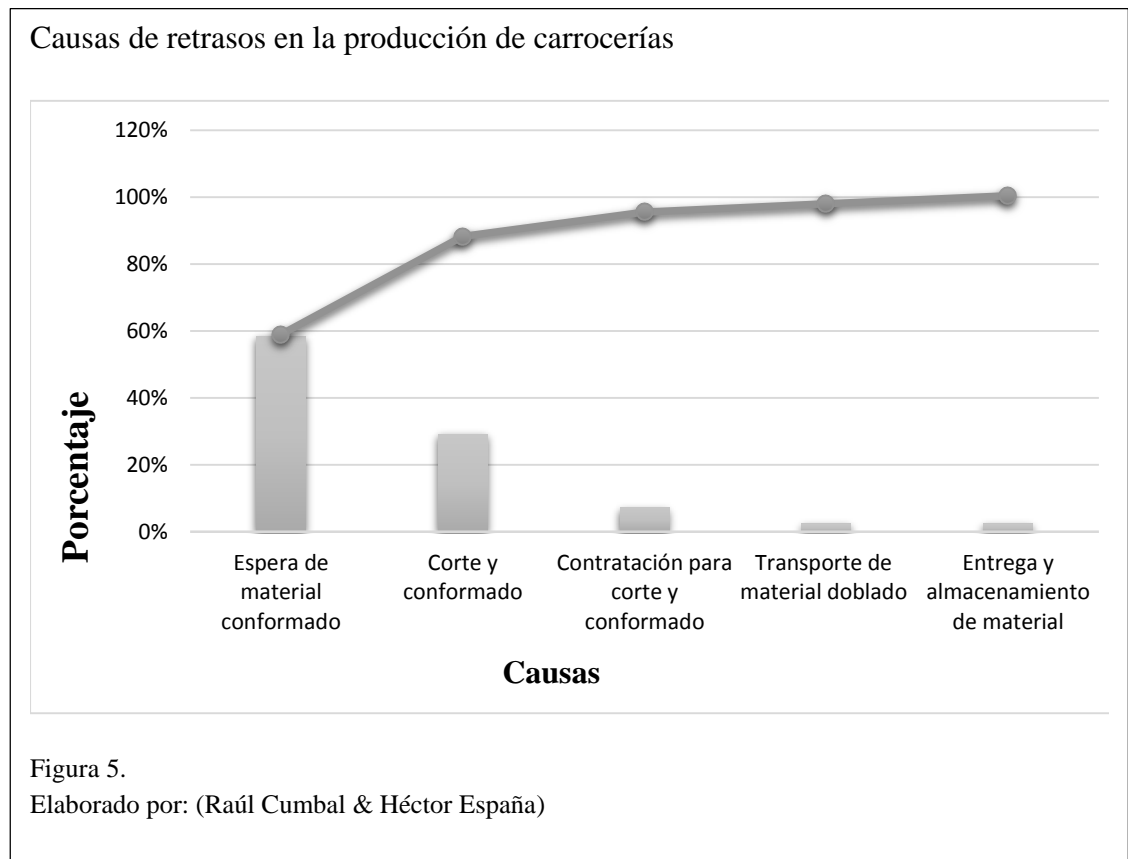
Tabla 6.

Análisis del proceso de producción de carrocerías.

Causas de retrasos	Horas	%	% Acumulado
Espera de material conformado	48	59%	59%
Corte y conformado	24	29%	88%
Contratación para corte y conformado	6	7%	96%
Transporte de material doblado	2	2%	98%
Entrega y almacenamiento de material	2	2%	100%
Total	82	100%	100%

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En el desarrollo del proceso de fabricación de carrocerías existes variables negativas que producen demoras en la producción, en la figura 5, se puede observar que entre las causas de retrasos más relevante es la espera del material conformado, elemento crítico que es conveniente solventar los problemas con la implementación de una máquina dobladora de tubos.



Capítulo 2

Análisis de alternativas

2.1. Procedimiento del conformado

El conformado de metales es un proceso de manufactura que tiene como objetivo producir una pieza por deformación plástica del material original. Los procesos de conformado más comunes son: forja, laminación, trefilado y extrusión. (Pazos Peinado, 2005, pág. 195)

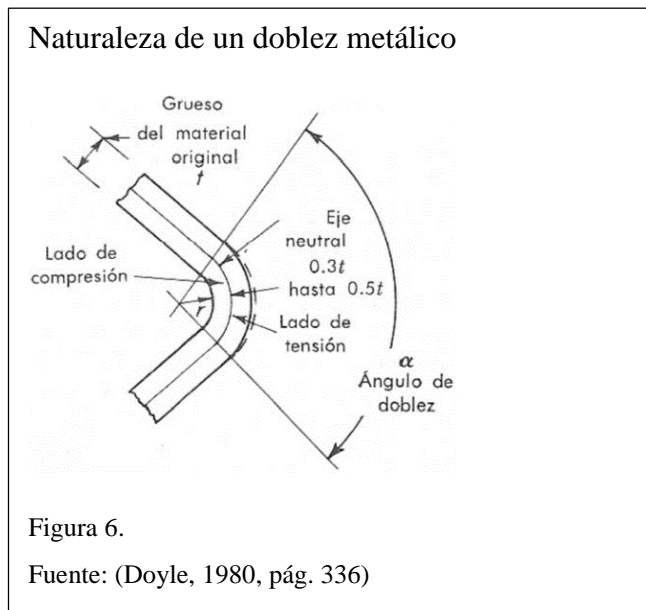
El equipo utilizado es una dobladora de tubos que tiene como componentes principales rodillos que van acorde a la sección del tubo.

En este proceso el material se coloca entre dos placas llamadas matrices, con las cuales es sometido a un esfuerzo de compresión por martilleo sucesivo o prensado continuo. Durante el proceso de conformado del material el esfuerzo de compresión aumentará o disminuirá dependiendo la elevación o descenso de un rodillo móvil, para este trabajo se necesitará la energía de un elemento principal que brindará la potencia necesaria para cumplir el objetivo. (Pazos Peinado, 2005, pág. 196)

Una vez realizado el proceso de conformado es necesario comprobar el radio de curvatura del elemento mecanizado. Para la construcción de una carrocería es importante seguir a detalle el diseño previamente estudiado de la estructura.

El curvado es una técnica de conformado que consiste en dar forma de curva a un material. Esta curva, normalmente es regular, es decir, la deformación que se pretende tiene forma de cilindro o de cono. El curvado puede ser abierto o cerrado. A veces también puede ser de forma irregular para adaptarse al contorno de una pieza ya hecha. (López Gálvez, 2013, pág. 86)

El doblado de un metal ocurre cuando se aplica un esfuerzo superior a su límite elástico, dicho esfuerzo deberá ser dirigido en una dirección diferente al eje neutral del material a ser conformado, es así como se consigue una deformación plástica permanente en forma de curva como se detalla en la figura 6.



Se requiere de una fuerza superior de acuerdo aumenta el ángulo de curvatura al momento de conformar o deformar un material por este motivo se debe precaver de no exceder el esfuerzo de ruptura.

2.2. Estudio y selección de alternativas

Para la búsqueda de una solución al problema planteado anteriormente se estudiarán varias alternativas para cubrir la necesidad en el proceso de conformado del material en bruto.

Las alternativas presentadas a continuación, hacen referencia a máquinas utilizadas comúnmente en el medio de construcción mecánica y los diferentes métodos de doblado tanto de perfiles como de tubos que aplica cada una de ellas. La elección más adecuada compensará la necesidad actual de la empresa, además deberá disminuir tiempo, distancia y espera del proceso para la construcción de carrocerías, se aumenta así la rentabilidad de la empresa. En consecuencia, se plantean tres alternativas para la solución del problema, como se lo demuestra en la tabla 7.

Tabla 7.

Alternativas para la elección de la máquina

Alternativa 1:	Dobladora de tubos Manual
Alternativa 2:	Dobladora de tubos electromecánica
Alternativa 3:	Dobladora de Tubos Hidráulica Semiautomática

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

2.2.1. Dobladora de tubos manual.

En una máquina de accionamiento manual que permite mediante la transmisión de palanca, un eje de giro y acompañado de un esfuerzo físico efectuar el conformado, el material se deforma de acuerdo a la fuerza que realice el operario. La máquina es muy utilizada en empresas que no demandan mucho material a conformar debido a que su producción es limitada.

En la tabla 8 se demuestran ventajas y desventajas de la máquina en mención.

Tabla 8.

Ventajas y desventajas de la máquina dobladora manual

Ventajas	Desventajas
Fabricación económica	Producción limitada
Bajo costo de mantenimiento	Elevado costo de mano de obra
Facilidad de construcción	Precisión mínima tanto en el ángulo como paralelismo o perpendicularidad del material doblado.

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En la figura 7. se muestra una dobladora de tubo manual.

Dobladora de tubos manual



Figura 7.

Fuente: (OTM, 2015)

2.2.2. Dobladora de tubos electromecánica.

Utiliza un motor eléctrico que proporciona la fuerza necesaria para cumplir el trabajo de doblado. El operario cumple un importante papel en el funcionamiento correcto de la máquina, el mismo es el encargado de calibrar cada elemento, tanto la máquina como el material en bruto a ser conformado.

El accionamiento del mecanismo dependerá de los mandos eléctricos los cuales son los agentes que accionan el motor y por consecuente determinan el ángulo de curvatura tanto de la tubería o del perfil. La forma básica y de funcionamiento de este tipo de máquina es similar a la dobladora de tubos manual como se lo ilustra en la figura 8.



En la tabla 9. se exponen ventajas y desventajas de la máquina en mención.

Tabla 9.

Ventajas y desventajas de una dobladora electromecánica

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de mano de obra (un operario)	Alto costo de mantenimiento (mecánico – eléctrico)
Precisión en el funcionamiento	Máquina de grandes dimensiones, ocupa un amplio espacio.
Mejoramiento en la producción	Elevado costo tanto en el diseño como en la construcción.

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

2.2.3. Dobladora de tubos hidráulica semiautomática.

A diferencia de las anteriores, este tipo de máquina está provista por una central hidráulica, la cual está dispuesta por una bomba hidráulica encargada de ejercer el trabajo hacia los demás elementos encargados de cumplir con el objetivo, se garantiza la rapidez en el doblado. En la tabla 10. se muestran tanto las ventajas como desventajas que tiene esta alternativa.

Tabla 10.

Ventajas y desventajas de una dobladora hidráulica semiautomática

Ventajas	Desventajas
Se la opera con un trabajador	El fluido (aceite) es altamente contaminante.
Facilidad de construcción.	Se debe realizar un exhaustivo mantenimiento debido a las condiciones de trabajo.
Mejoramiento e incremento de la producción	Elevado costo en los accesorios y elementos hidráulicos.
Regulación de la velocidad y fuerza del doblado	

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En la figura 9. se ilustra el modelo semejante a la alternativa tratada.



2.3. Análisis y Selección de la alternativa más adecuada

Para seleccionar la alternativa más conveniente y que cubra todos los requerimientos de la empresa Carrocerías Pedrotti se debe tomar en cuenta tanto las ventajas como las desventajas que cada opción proporcionará al momento de realizar el trabajo de doblado. De igual manera se debe analizar el mantenimiento, maniobrabilidad, la seguridad de trabajo, costo general de la máquina, etc.

La tabla 11. analiza cada alternativa con la siguiente calificación cuantitativa:

Ponderación:

- 0-3: demasiado costoso, demasiado malo.
- 4-5: costoso, malo o dificultoso.
- 6-8: regular o características aceptables.
- 9-10: fácil, óptimo, económico, bueno.

Tabla 11.

Selección de alternativa adecuada

Descripción	Características técnicas	Dobladora de tubos manual	Dobladora de tubos electromecánica	Dobladora de tubos hidráulica semi-automática
Costo	Repuestos	9	8	7
	Mano de obra	6	8	9
	Mantenimiento	9	8	8
Operación	Tiempo de operación	8	9	10
	Calidad del doblado	6	7	9
	Montaje	8	8	8
Diseño	Estructura	7	8	8
	Seguridad	7	7	8
	Maniobrabilidad	8	7	8

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En la tabla 12. se expresan los resultados obtenidos del análisis de los elementos mencionados.

Tabla 12.
Alternativa seleccionada

Características técnicas	Dobladora de tubos manual	Dobladora de tubos electromecánica	Dobladora de tubos hidráulica semiautomática	Valor ideal
Costo	24	24	24	30
Operación	22	24	27	30
Diseño	22	22	24	30
Total	68	70	75	90

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En conclusión, las dos primeras alternativas con una calificación de 68 y 70 respectivamente son las que tienen menor puntuación y son las menos factibles de acuerdo a cada característica que posee cada una de ellas, de igual manera se concluye que la tercera alternativa cumple de mejor manera las características expuestas, por lo tanto, satisface las necesidades expuestas en el proceso de conformado de materiales en la empresa carrocerías Pedrotti.

Conforme el análisis realizado en esta unidad se decide diseñar y construir una máquina hidráulica dobladora de tubos semiautomática con rodillos intercambiables.

Capítulo 3

Descripción de la máquina

3.1. Descripción de la máquina

La fuerza que permitirá la deformación del material será mediante el accionamiento hidráulico. La posición de trabajo se efectuará de forma horizontal de acuerdo con el diseño.

La máquina cuenta de tres rodillos intercambiables cada uno de ellos acoplado a su respectivo eje, dos de ellos son inferiores y son los que transmiten el movimiento rotatorio para que el tubo pueda deslizarse con facilidad, el ultimo eje es el superior y es el responsable de transmitir la fuerza para realizar el conformado del material.

El uso de rodillos intercambiables y su movimiento rotatorio al instante de realizar el proceso de doblado es fundamental, puesto que de esta manera el tubo se podrá deformar de modo más sencillo y de acuerdo a las características pretendidas.

En la figura 10. se muestra un diseño tentativo de la máquina.

Diseño tentativo de la máquina

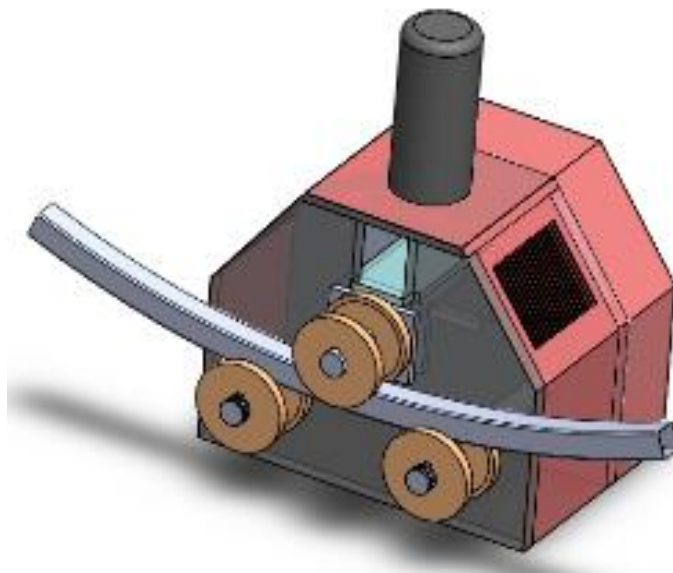


Figura 10.
Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

3.1.1. Análisis de resistencia del material.

El material que conforma la estructura de la carrocería es acero A-36, un acero de buena soldabilidad, resistencia y fuerza, un material acorde para este tipo de trabajos.

En la tabla 13. se muestra las propiedades mecánicas del acero A-36

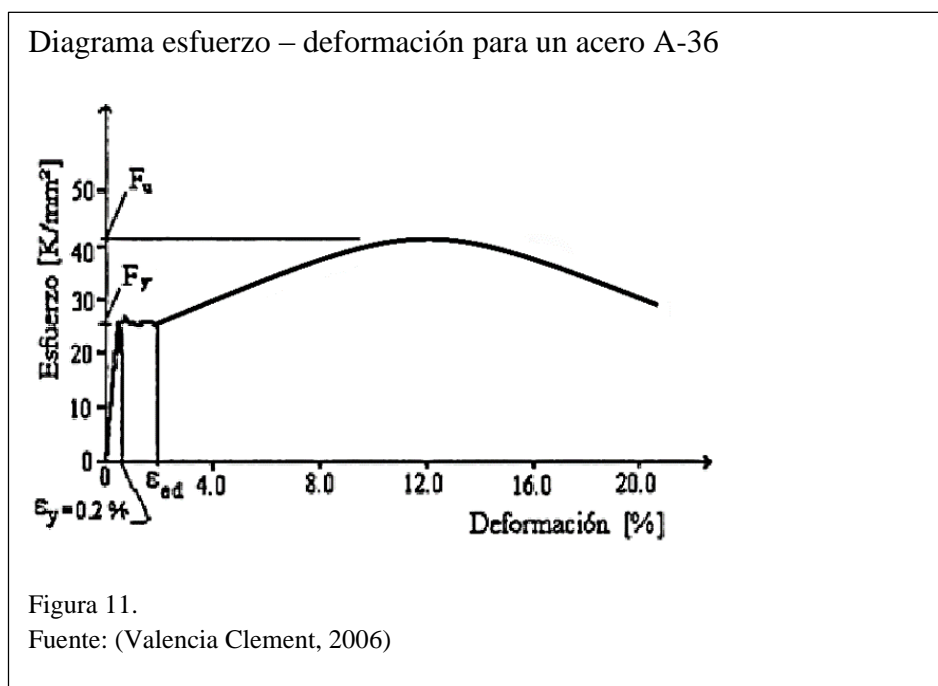
Tabla 13.

Propiedades mecánicas del acero A-36

Propiedad	Valor
Densidad, g/cm ³	7.85
Resistencia a la tracción, MPa	400-552
Límite de fluencia, MPa	250
Módulo de Young, MPa	200 000
Módulo de cortante, MPa	79 300
Coefficiente de Poisson	0.26
Elongación %	18
Dureza Rockwell B	67-83
Dureza Brinell	119-159

Nota: (Echeverría, 2011)

En la figura 11. se ilustra el diagrama esfuerzo – deformación del acero A-36 que permite analizar la deformación de un material dúctil.



Donde:

F_y: Esfuerzo fluencia

F_u: Resistencia a la tensión

E: Módulo de elasticidad

E_{ed}: Modulo de endurecimiento por deformación

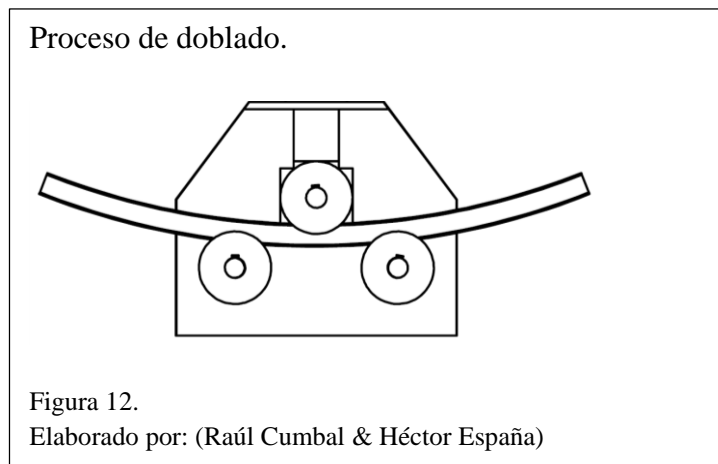
u: Relación de poisson

G: Modulo de rigidez

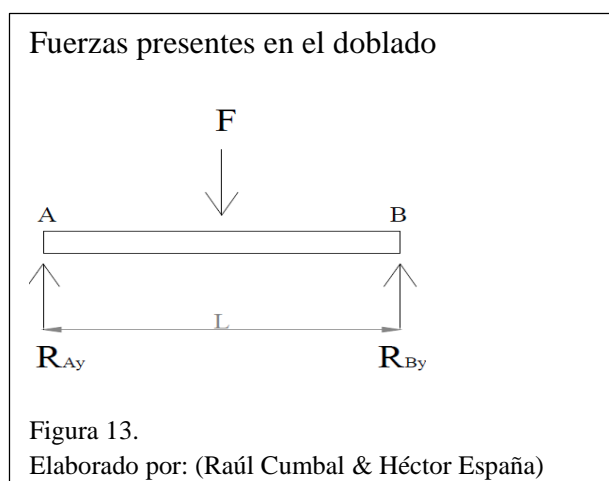
3.2. Diseño mecánico

3.2.1. Fuerzas necesarias para el doblado.

La forma geométrica de los rodillos es fundamental para cumplir con el doblado del material. Los rodillos motrices giran para facilitar la entrada de la tubería o perfil, al mismo tiempo un tercer rodillo realiza una presión perpendicular al eje, cuyo resultado será la curvatura del material como se ilustra en la figura 12.



En la figura 13. se observa el diagrama de cuerpo libre del proceso de doblado



Por consecuente las reacciones tanto en el punto A como B serán las mismas debido a que se encuentran a una distancia equidistante al punto medio, donde se aplica la fuerza F.

$$R_{AY} = R_{BY} = \frac{F}{2} \quad (3.1)$$

Fuerza necesaria para el cálculo del esfuerzo normal de flexión que se produce en el perfil o tubería efecto de la presión aplicada por un tercer rodillo el cual subirá o descenderá según el grado de curvatura deseado. El esfuerzo por flexión se calculará con la siguiente ecuación.

$$\sigma_f = \frac{M_f \cdot c}{I} \quad (3.2)$$

Donde:

σ_f = Esfuerzo normal por flexión [Pa]

M_f = Momento flector [N m]

c = Distancia del eje neutro a la periferia más alejada del elemento [m]

I = Momento de inercia [m^4]

Fuente: (Hibbeler, 2006, pág. 355)

La fuerza a determinar debe ser la suficiente para deformar la viga, es decir, que el material llegue a su zona plástica, para esto se debe aplicar un momento plástico a la ecuación anterior.

$$M_p = \frac{3}{2} M_f \quad (3.3)$$

Fuente: (Hibbeler, 2006, pág. 355)

Para casos como vigas de edificios que son diseñadas para resistir momentos plásticos se utilizará la constante de forma como se lo expone en la siguiente ecuación:

$$k = \frac{M_p}{M_f} \quad (3.4)$$

Fuente: (Hibbeler, 2006, pág. 355)

Se reemplaza el momento flector de la ecuación (3.2) en (3.3) se consigue la igualdad del momento plástico:

$$M_p = \frac{3 \cdot \sigma_f \cdot I}{2 \cdot c} \quad (3.5)$$

Se parte de la ecuación (3.1) y es el momento el resultado de multiplicar la fuerza por la distancia referente a un punto, se concluye que el momento en el punto $x = L/2$ es igual a:

$$M_p = \frac{F \cdot L}{4} \quad (3.6)$$

Se utiliza la ecuación (3.6) en la (3.5), y se despeja la fuerza necesaria para vencer el momento plástico se obtiene:

$$F = \frac{6 \times \sigma_f \times I}{L \times c} \quad (3.7)$$

3.2.2. Cálculos de las fuerzas de doblado.

En el siguiente fragmento del capítulo se realizan los cálculos de las fuerzas necesarias de doblado para perfiles y tuberías según los requerimientos de la empresa Carrocerías Pedrotti, los cuales son los más utilizados durante el proceso de producción.

El material utilizado para la fabricación de los perfiles y tuberías será el Acero Astm A-36 cuyas propiedades mecánicas se las demuestra en la tabla 14.

Tabla 14.

Propiedades mecánicas del Acero Astm A-36

Grado del Acero	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alargamiento
	kg/mm ²	MPa	kg/mm ²	MPa	%
ASTM A36	40,8	400	25,5	250	20 (mm).

Nota: (Bustamante Aravena, 2010, pág. 17)

3.2.3. Tuberías.

Para realizar el cálculo de la fuerza necesaria de doblado se considera el diámetro máximo que la empresa emplea en la fabricación de carrocerías, en este caso de 100

milímetros con un espesor de 3mm. Se transforman los valores al sistema inglés de unidades y se obtienen las siguientes equivalencias representadas en la tabla 15.:

Tabla 15.
Propiedades y dimensiones de la tubería

Dimensiones		Inercia		C	
[Milímetros]	[Pulgadas]	[Pulg. ⁴]	[m ⁴]	[Pulg.]	[m]
Diam. 100 x 3	HSS4.00x0.125	2,67	1,111x10 ⁻⁶	2	0,0508

Nota: (AISC, 2006, pág. 97)

Se obtiene el valor de F a partir de la Ecuación (3.7)

$$F = \frac{6 \times \sigma_f \times I}{L \times c}$$

Se asume una longitud entre ejes de 0,500 [m], dispuesta en máquinas de similares características existentes en el mercado.

$$F = \frac{6 \times 270 \times 10^6 \times 1,111 \times 10^{-6}}{0,500 \times 0,0508}$$

Se obtiene una fuerza de: $F = 70860[N]$

En la tabla 16. se detallan las fuerzas necesarias para el doblado en los perfiles y tuberías más utilizados por la empresa.

Tabla 16.
Propiedades y dimensiones de la tubería

Dimensión de la tubería o perfil [mm]	Fuerza necesaria para el doblado [N]
Tubería de 20x20x2	16014,86
Tubería de 30x30x2	41965,71
Tubería diámetro 100 x 3	70859,1
Tubería de 40x40x2	80305,71
Perfil U de 50x25x2	104605,71
Tubería de 60x40x2	141998,86

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España).

El valor de F será estipulado como el máximo a ser trabajado por la máquina, este valor aproximado de $F = 142\,000$ [N] será utilizado concurrentemente en los cálculos posteriores.

3.2.4. Diseño de cargas.

Se asume que en la máquina se presentarán cargas estáticas debido a las bajas velocidades de rotación, por ende, el factor de diseño o Factor de Seguridad [FS] será utilizado conforme a lo estipulado en la tabla 17.:

Tabla 17.
Factor de Seguridad

Factor de Seguridad	Lineamientos
1,25 a 2	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2 a 2,5	Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos del diseño.
2,5 a 4	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4 o más	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

Nota: (Mott, 2006, pág. 185)

Factor de seguridad asumido para el diseño: 2 utilizado en todos los cálculos de diseño para garantizar el desempeño de la máquina.

La fuerza máxima a ejercer por parte del cilindro hidráulico a través del rodillo superior será de $142\,000$ [N], por lo tanto los rodillos inferiores serán los apoyos o las reacciones de la fuerza máxima a ejercer.

En la figura 14. se representan las fuerzas de rozamiento.

Fuerzas de rozamiento.

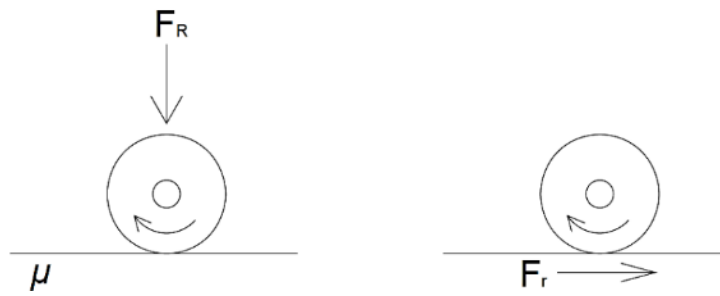


Figura 14.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

$$Fc = \frac{F}{2}$$

$$Fc = \frac{142\,000 \text{ [N]}}{2}$$

$$Fc = 71\,000 \text{ [N]}$$

Fuerza de rozamiento

$$Fr = F \times \mu$$

Coeficiente de roce estático del acero al carbono es: $\mu = 0,15$

$$Fr = 10\,650 \text{ [N]}$$

Torque rodillo inferior

El diámetro del rodillo en contacto estimado es de 0.12 m, obtenido de una máquina con características similares.

$$T = Fr \times \frac{d}{2}$$

$$T = 639 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Torque rodillo superior

$$Ts = 2 \cdot T$$

$$Ts = 1\,278 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

3.2.5. Cálculo de Ejes.

La máquina consta de 3 ejes los cuales transmiten el movimiento rotatorio necesario para cumplir el doblado, además se ubicarán los rodillos que adoptan la forma necesaria de cada perfil. Los ejes a ser estudiados son: dos inferiores y el eje superior encargado de transmitir la fuerza para el doblado.

El material utilizado para los ejes es el SAE 1045, ideal para elementos ejes o mecanismos estructurales de una buena resistencia mecánica a bajo costo.

Tabla 18.

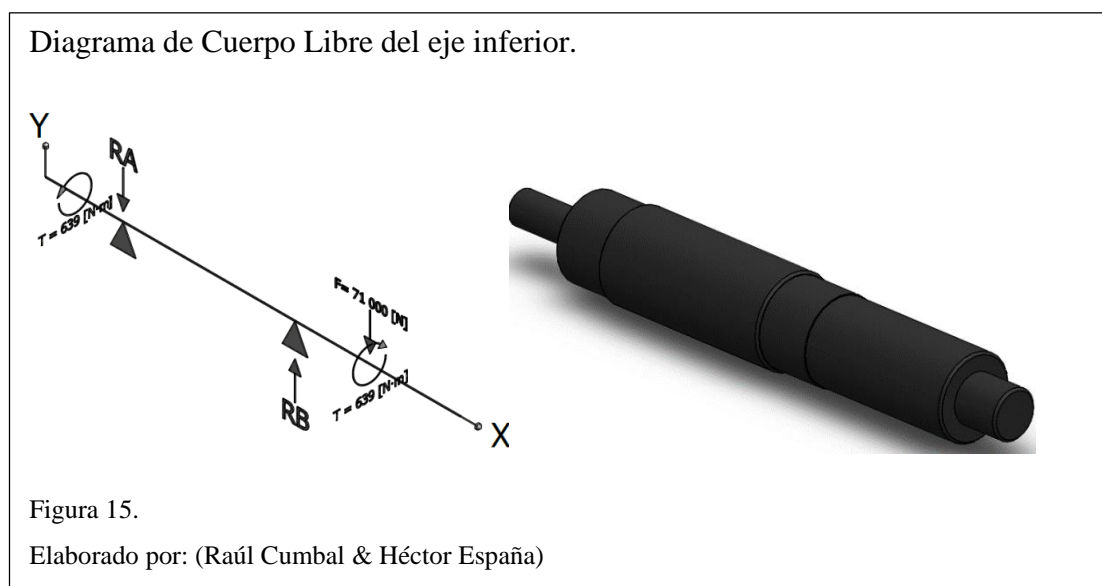
Propiedades mecánicas del acero al carbono SAE 1045

Grado del acero	Resistencia a la Tracción		Límite de fluencia		Dureza
	Kg/mm ²	MPa	Kg/mm ²	MPa	
SAE 1045	57	570	31	310	163 HB

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

a) Cálculo del eje inferior

Las fuerzas analizadas en el eje están presentes en la **Figura 3.6** donde se ilustra el diagrama de cuerpo libre del eje inferior:



El diseño de los ejes están basados en la ecuación del código ASME expresada en la fórmula 3.8:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times \sigma_s} \sqrt{(K_b \times M_b)^2 + (K_t \times M_t)^2} \quad (3.8)$$

Donde:

d = Diámetro [m].

σ_s = Esfuerzo Permisible [Pa].

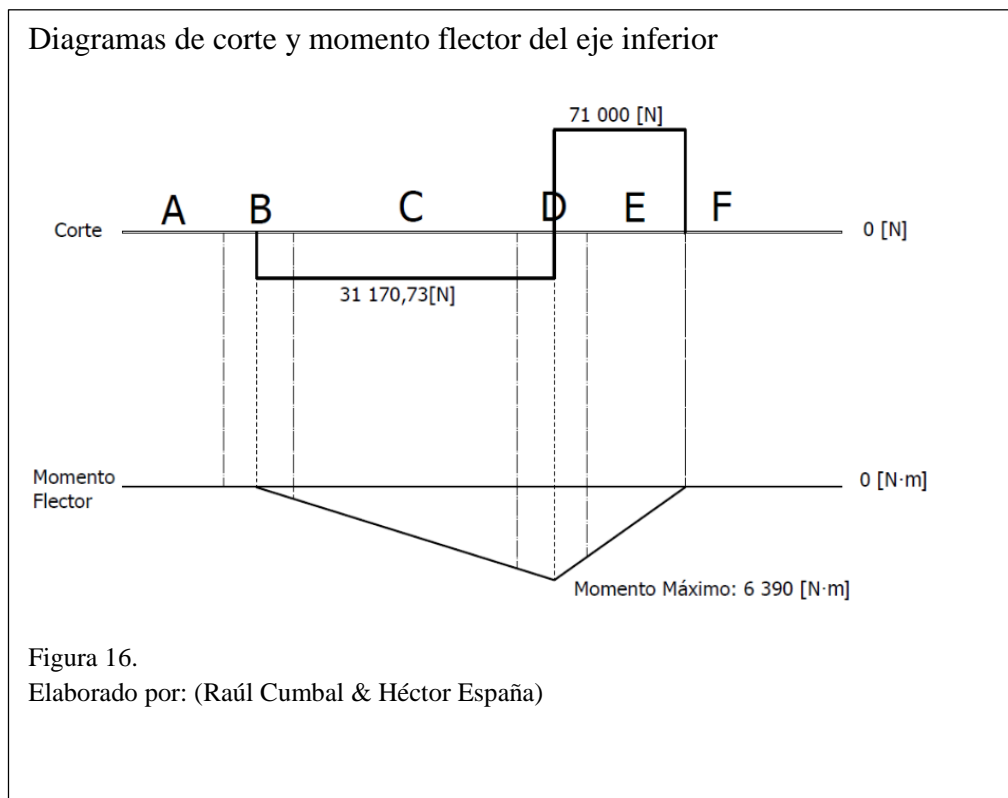
M_b = Momento flector [N·m].

M_t = Momento de torsión [N·m].

K_b = Coeficiente combinado de choque y fatiga, multiplicado por el momento flector.

K_t = Coeficiente combinado de choque y fatiga, multiplicado por el momento de torsión.

En la figura 16. se ilustran las fuerzas aplicadas en el eje inferior, que se presentan en el plano X – Y.



Los coeficientes K_b y K_t se evidencian en la tabla 19. en función a la carga aplicada al eje:

Tabla 19.

Coefficientes combinados.

	K_b	K_t
Carga aplicada gradual	1,5	1
Carga repentina (choque menor)	1,5 - 2,0	1,0 - 1,5
Carga repentina (choque fuerte)	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0

Nota: (Zapata, 2013, pág. 78)

División de los ejes en cinco secciones

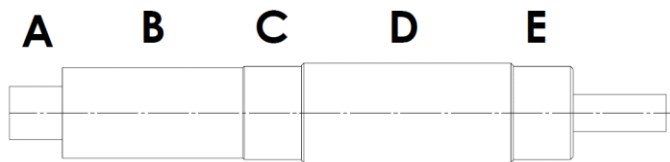


Figura 17.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Para el diseño de los ejes se han dividido en cinco secciones, como se ilustra en la figura 17., para conocer el diámetro correspondiente a cada uno, se tomarán en cuenta los momentos flectores y los momentos de torsión analizados en un programa de diseño.

Deflexión del eje inferior

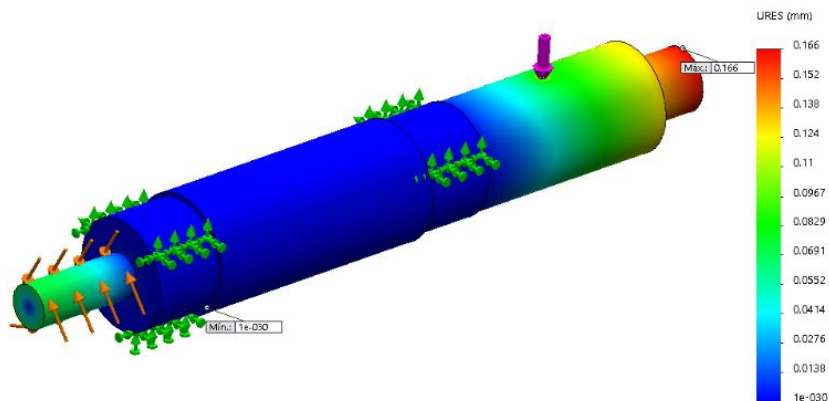


Figura 18.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Sección A: Conforme lo analizado en la fórmula 3.8 se obtiene:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times \sigma_s} \sqrt{(K_b \times M_b)^2 + (K_t \times M_t)^2}$$

$$\sigma_s = 155 \text{ [Pa]}.$$

$$M_t = 639 \text{ [N}\cdot\text{m]}.$$

$$K_b = 1,5.$$

$$K_t = 1.$$

La resolución de la ecuación es:

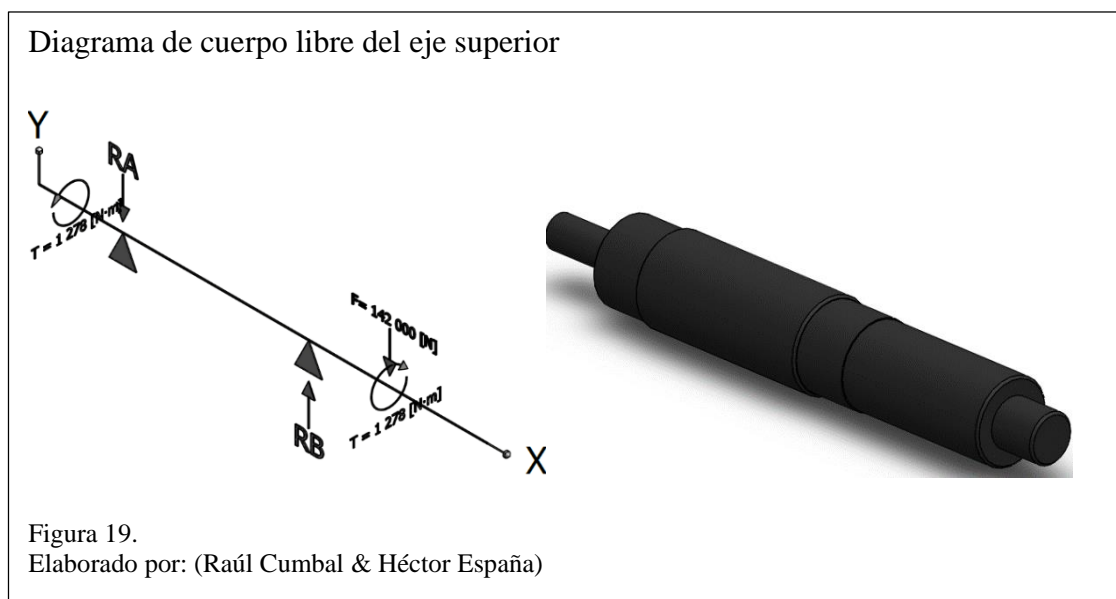
$$d = 0,028 \text{ m}$$

Con la **Fórmula (3.8)** aplicada en cada sección se obtienen los siguientes diámetros:

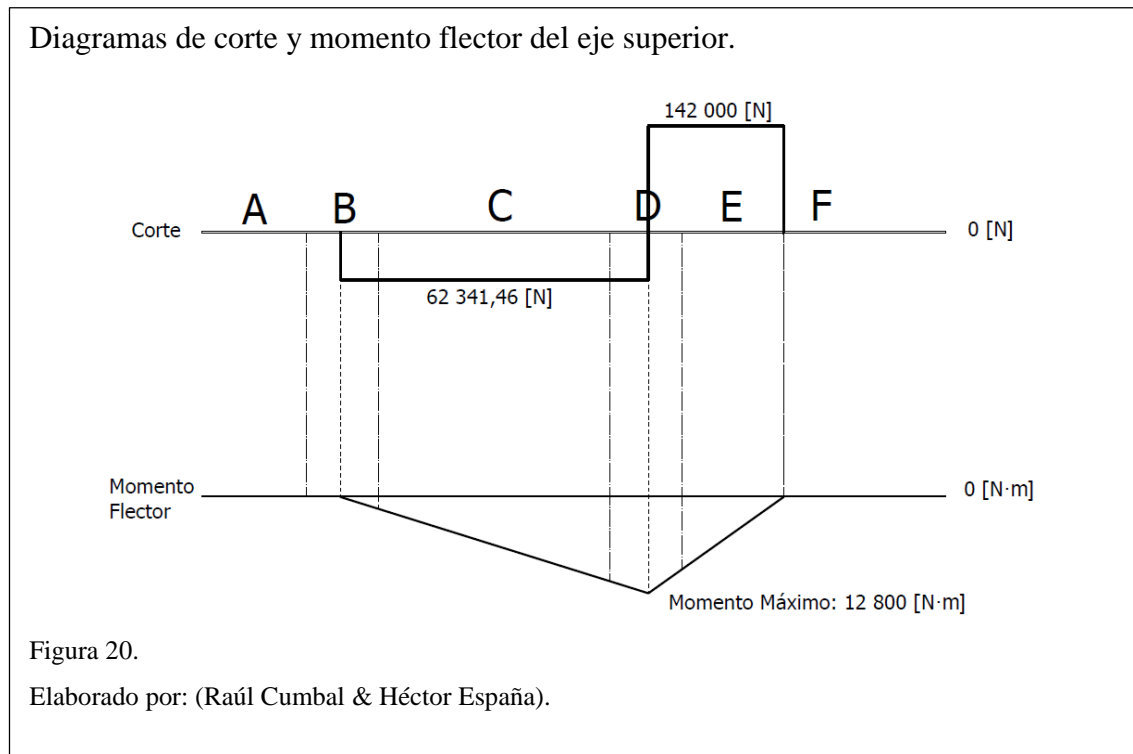
Sección A	Sección B	Sección C	Sección D	Sección E
Diámetro: 0,028 m	Diámetro: 0,07 m	Diámetro: 0,075 m	Diámetro: 0,07 m	Diámetro: 0,068 m

b) Cálculo del eje superior

Para facilitar el diseño se realiza el diagrama de cuerpo libre ilustrado en la figura 19. donde se consideran los esfuerzos presentes en el eje:



En la figura 20. se ilustran las fuerzas aplicadas en el eje inferior, que se presentan en el plano X – Y.



Sección A: Conforme lo analizado en la fórmula 3.8 se obtiene:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times \sigma_s} \sqrt{(K_b \times M_b)^2 + (K_t \times M_t)^2}$$

$$\sigma_s = 155 \text{ [Pa]}.$$

$$M_t = 1\,278 \text{ [N·m]}.$$

$$K_b = 1,5.$$

$$K_t = 1.$$

La solución de la ecuación es: $d = 0,035 \text{ m}$

Con la **Fórmula (3.8)** aplicada en cada sección se obtienen los siguientes diámetros:

Sección A	Sección B	Sección C	Sección D	Sección E
Diámetro: 0,035 m	Diámetro: 0,086 m	Diámetro: 0,09 m	Diámetro: 0,086 m	Diámetro: 0,08 m

3.2.6. Selección de las chavetas

Para el dimensionamiento de las chavetas y sus respectivos alojamientos se emplea la norma S/DIN-6885/1, ilustrada en el Anexo 1. De acuerdo a la norma se toma en cuenta las siguientes medidas expresadas en la tabla 20.:

Tabla 20.

Dimensiones de las chavetas y sus alojamientos

	Sección	Diámetro de la sección [mm]	Medida de la chaveta b x h [mm]	d+t2 [mm]	t1 [mm]
Eje inferior	Piñón para movimiento	28	8 x 7	28 + 3,0	4,1
	Rodillos	70	20 x 12	70 + 4,7	7,4
Eje superior	Piñón para movimiento	35	10 x 8	35 + 3,4	4,7
	Rodillo	86	25 x 14	86 + 5,4	8,7

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Donde:

d= Diámetro de la sección.

b = Ancho de la chaveta.

h = Espesor de la chaveta.

t2 = Profundidad del chavetero en los rodillos.

t1 = Profundidad del chavetero en el eje.

Para el elemento analizado se utiliza el Material AISI 1045, bajo la norma DIN 6880, ideal para la utilización de chavetas por torsiones de media y alta potencia.

3.2.7. Selección de rodamientos

Para la correcta selección de los rodamientos se analiza los siguientes parámetros.

- Carga estática
- Carga dinámica
- Velocidad angular
- Tiempo de vida

Vida útil

Se estima un tiempo de vida útil de acuerdo al proceso de producción de la empresa, la máquina trabaja 4 horas diarias durante los 260 días laborables del año lo que es 1040 horas.

Carga dinámica

$$C_r = \frac{f_l}{f_n} \times P \quad (3.9)$$

(Fag, 2000, pág. 32)

Donde:

C_r : carga básica dinámica

f_l : coeficiente dinámico

f_n : factor de velocidad

P : Carga total

En la figura 21. se encuentra el coeficiente dinámico y se lo obtiene respecto a la vida útil de la máquina anteriormente analizada.

Coeficientes Dinámicos para selección de rodamientos			
Valores f_L para rodamientos de bolas			
L_h	f_L	L_h	f_L
h		h	
300	0,843	1100	1,3
320	0,862	1200	1,34
340	0,879	1300	1,38
360	0,896	1400	1,41

Figura 21.
Fuente: (Fag, 2000, pág. 34)

$f_l=1.3$

En la figura 22. se selecciona el factor de velocidad de acuerdo a las revoluciones que realizan los rodillos que es de 8 r.p.m.

Factor de velocidad

▼ Valores f_n para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

n	f_n	n	f_n	n	f_n	n	f_n	n	f_n
min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹	
10	1,49	55	0,846	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137

Figura 22.

Fuente: (Fag, 2000, pág. 35)

$$F_n = 1.8$$

Con la **Fórmula (3.9)** se calcula la carga dinámica

$$C_r = \frac{f_l}{f_n} \times P$$

$$C_r = \frac{1.3}{1.8} \times 141998,86$$

$$C_r = 102554,73 \text{ N}$$

Carga estática

$$C_o = f_s \times P_o \quad (3.10)$$

Siendo:

f_s : factor de esfuerzos estáticos

C_o : capacidad de carga estática [kN]

P_o : carga estática equivalente [kN]

El factor de seguridad f_s para la selección de rodamientos se toma en cuenta según la siguiente información de catálogo:

$f_s = 1,5 \dots 2,5$ para exigencias elevadas

$f_s = 1,0 \dots 1,5$ para exigencias normales

$f_s = 0,7 \dots 1,0$ para exigencias reducidas. (Fag, 2000, pág. 30)

$$C_o = f_s \times P_o$$

$$C_o = 1 \times 141998,86$$

$$C_o = 141998,86 \text{ N}$$

Dimensiones del rodamiento

Bearing Number	Dimensions (mm)							Basic Load Ratings (N)		Weight kg
	d	D	t	B	C	r	R	Cr	Cor	
30212	60	110	23.75	22	19	1.5	2.0	99000	114000	0.88
30213	65	120	24.75	23	20	1.5	2.0	114000	134000	1.15
30214	70	125	26.25	24	21	1.5	2.0	125000	156000	1.25

Figura 23.

Fuente: (FBJ, 2012, pág. 92)

3.2.7. Cálculo de las paredes.

La función principal de las paredes es soportar la carga aplicada por el cilindro y sobrellevar los pesos de cada elemento, se toma en cuenta el esfuerzo permisible de la siguiente Fórmula 3.11.:

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \quad (3.11)$$

Donde:

σ_s = Esfuerzo Permisible [Pa].

F = Fuerza máxima aplicada a las paredes [N].

A = Área de contacto entre el eje y la pared.

El material utilizado para las paredes es de Acero ASTM A 36, cuyo esfuerzo permisible es 125 [MPa], se toma en cuenta un factor de seguridad igual a 2 como anteriormente se había seleccionado.

Para la fuerza aplicada en las paredes se tomará en cuenta el valor máximo de los apoyos en los ejes principales, en este caso de 142 000 N, adicionalmente el peso de los ejes ejercido en el mismo apoyo:

$$F = \text{Carga máxima} + \text{Peso de los ejes} \quad (3.12)$$

El peso de uno de los ejes se obtiene a partir de la densidad del acero equivalente a: 7850 kg/m³. El volumen del eje analizado es:

Área de la sección mayor: 0,00636 m².

Longitud del eje: 0,495 m.

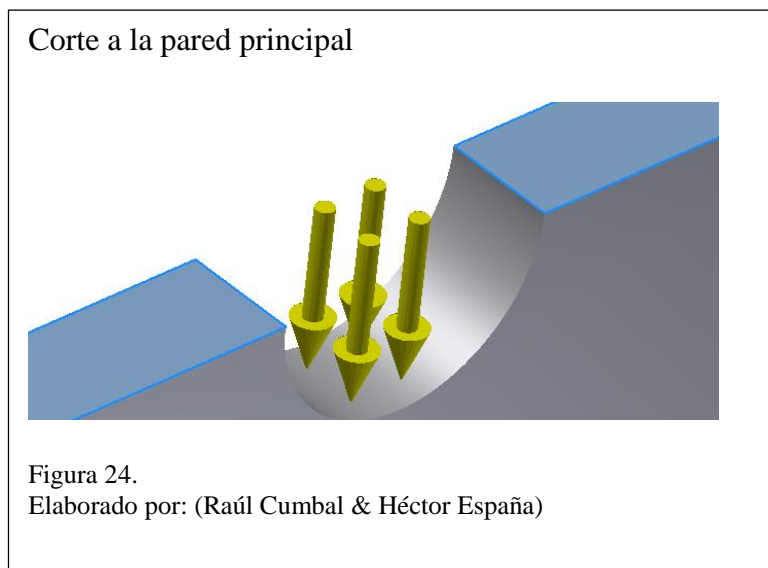
Volumen total del eje, se toma en cuenta las irregularidades: 0,0031 m³.

Masa total del eje: 24,72 kg valor equivalente a un peso de 243 [N].

Se sustituye los valores obtenidos en la fórmula (3.12) para obtener:

$$F = 142\,243 \text{ [N]}$$

El área en contacto se analiza a partir de la figura 24, donde la variable desconocida es el espesor de la pared:



A continuación, se estudia el área donde se ejerce la fuerza máxima:

$$\text{Área: } L \times (R \times \pi) \quad (3.13)$$

Donde:

L = Espesor de la pared.

R = Radio del eje = 0,035 [m].

Se aplica la fórmula (3.12) y (3.13) en la ecuación (3.11) para obtener el espesor de la pared:

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \quad (3.11)$$
$$\sigma_s = \frac{F}{L \times (R \times \pi)}$$

$$L = 10,35 \text{ mm.}$$

Dentro de la disponibilidad del mercado el espesor del material de las paredes será de media pulgada o 12,7 mm

3.2.8. Cálculo y selección del motor reductor.

El torque que ejerce el motor reductor se transmitirá a los dos ejes inferiores que deben estar acoplados de forma que adquieran el torque y la velocidad requerida.

El motor reductor es el componente de la máquina que produce el movimiento de giro de los ejes acoplados con los rodillos.

$$P = T \cdot n / 9550 \quad (3.14)$$

Donde

P: Potencia en kW

T: torque en Nm

n: velocidad en rpm

El número de revoluciones es de 6 rpm este dato se estudió y se tomó de referencia de (Bustamante Aravena, 2010, pág. 46)

$$P = T \cdot \frac{n}{9550}$$

$$P = 0,796 \text{ KW}$$

$$P = 1,07 \text{ HP}$$

Potencia requerida del motor reductor es de:

P: Potencia de entrada

Ps: Potencia de salida

nr: Rendimiento del reductor

$$P = \frac{1,07 \text{ HP}}{0,98}$$

$$P = 1,09 \text{ HP}$$

3.2.9. Cálculo y selección de cadena y engranajes.

Las cadenas de transmisión son una de las mejores elecciones para aplicaciones en donde se requiere pares de fuerza muy grandes y en donde los ejes de transmisión tienen velocidades medias y bajas de giro.

Ventajas

- No existe la posibilidad de resbalamiento frente a transmisiones por correa
- La transmisión es elevada gracias a la gran resistencia de las cadenas
- Debido a la transmisión por engranes no requiere de tensados, se evita sobrecargas de ejes
- El rendimiento es mucho mayor frente a otro tipo de transmisiones

Desventajas

- Son mucho más costosas que la transmisión por correa
- Solo se aplica en ejes paralelos
- Necesitan un mantenimiento diario

Para una selección de la cadena apropiada a una transmisión habrá de considerarse los siguientes factores:

Potencia a transmitir: 0,8 KW

Fuente de potencia: motor eléctrico

Mecanismo a operar: pesado según figura 25

Número de r.p.m. de los ejes: 8 r.p.m.

Distancia entre centros: 500 mm

Velocidad motriz: 22 r.p.m.

Velocidad del eje accionado: 8 r.p.m.

Torque: 1 278 $[N \cdot m]$

Condiciones de trabajo de motores

Condiciones de Trabajo	Motor Eléctrico		Motor Diesel	
	8-10 hrs.	24 hrs.	8-10 hrs.	24 hrs.
Uniforme	1,00	1,25	1,25	1,5
Semi Pesado	1,25	1,5	1,5	1,75
Pesado	1,5	1,75	1,75	2,00

Figura 25.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

$$\text{Relación} = \frac{22 \text{ r. p. m.}}{8 \text{ r. p. m.}}$$

$$\text{Relación} = 11:4$$

El motor reductor tiene una potencia de 0.7 KW

$$\text{Potencia corregida} = 1.09 \text{ HP} \cdot 1.25$$

$$\text{Potencia corregida} = 1.36 \text{ HP}$$

$$\text{Potencia corregida} = 1.5 \text{ HP}$$

Con el dato de la potencia corregida se busca el tipo de cadena y el piñón requerido en el **Anexo 2 y 3**.

Cadena: 1" Con piñón de 15 dientes.

Engranaje del eje accionado:

$$15 \cdot 1.5 = 22.5 \text{ dientes}$$

$$\text{Número de dientes } 24$$

3.2.11. Diseño del soporte móvil.

La fuerza aplicada está en contacto con la superficie del agujero para el diseño del soporte móvil se emplea la fórmula de esfuerzo cortante. En la figura 26 se representa el soporte móvil.

Soporte móvil

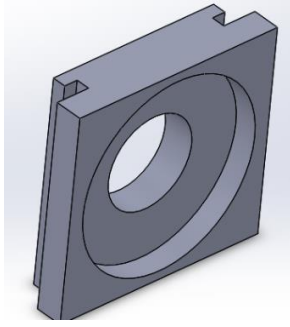


Figura 26.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Con la ecuación 3.15 se calcula el espesor de la pared para el soporte móvil.

$$\sigma_s = \frac{F}{L \cdot (R \cdot \pi)} \quad (3.15)$$

$$\sigma_s = \frac{142243}{L \cdot (0.140 \cdot \pi)}$$

$$L = 2.3 \text{ mm}$$

3.2.12. Selección del material para los rodillos

Debido a la carga máxima de 142 000 N se selecciona un material acorde a las necesidades que se presentan en la máquina, es decir, los rodillos estarán sometidos a una combinación entre dureza y tenacidad provocados por el doblado del material.

3.2.13. Dureza de los rodillos

Se considera que el material debe tener un endurecimiento tanto superficial como interno para evitar deformaciones debido a la fatiga producida en el doblado y traslado del material, en la figura 27 se observan tipos de aceros con sus respectivas aplicaciones:

Aceros y sus aplicaciones

Número UNS	Número AISI	Aplicaciones
G10150	1015	Piezas moldeadas en lámina; partes maquinadas (se pueden cementar)
G10300	1030	Piezas de uso general, en forma de barra, palancas, eslabones, cuñas
G10400	1040	Ejes, engranes
G10800	1080	Resortes; piezas para equipo agrícola sometidas a abrasión (dientes de rastrillo, discos, rejas de arado, dientes de cortacéspedes)
G11120	1112	Piezas de máquinas con tornillo
G12144	12L14	Piezas que requieran buena capacidad de maquinado
G41400	4140	Engranes, ejes, piezas forjadas
G43400	4340	Engranes, ejes, piezas que requieran buen endurecimiento en interior
G46400	4640	Engranes, ejes, levas
G51500	5150	Ejes para trabajo pesado, resortes, engranes

Figura 27.

Fuente: (Mott, 2006, pág. 49)

La aleación de cromo aumenta la dureza del acero, combinado con un porcentaje de molibdeno proporciona una buena tenacidad, el material que cumple con las propiedades mecánicas mencionadas es el Acero SAE 4340 como se ilustra en la Tabla 21:

Tabla 21.

Propiedades de Acero SAE 4340

SAE 4340

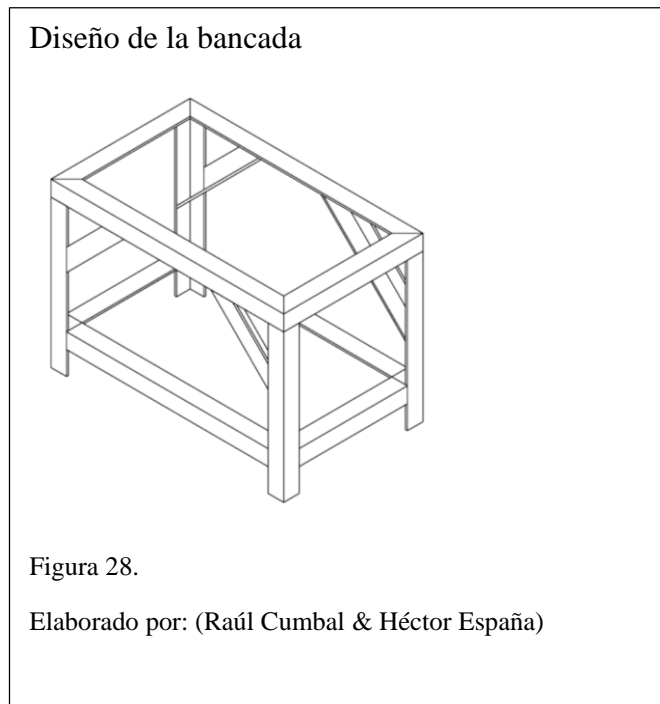
Composición química (%)		Propiedades mecánicas	
C	0,38 - 0,43		Bonificado
Mn	0,60 - 0,80		
Si	0,15 - 0,35	Resistencia a la tracción	95 - 105 kgf/mm ²
P	0,035 Máx.	Límite de fluencia	60 - 74 kgf/mm ²
S	0,04 Máx.	Dureza (HB)	280 - 340
Cr	0,70 - 0,90	Elongación	10 - 18 %
Ni	1,65 - 2,00		
Mo	0,20 - 0,30		

Nota: (Aceros Otero, 2015)

3.2.14. Diseño de la bancada.

El cabezal de la máquina tiene una placa base lo que admite distribuir uniformemente las cargas más críticas entre ellas, las cargas puntuales que se aplican en los diferentes

apoyos de los rodillos. En la figura 28 se ilustra la forma final de la estructura de la máquina.

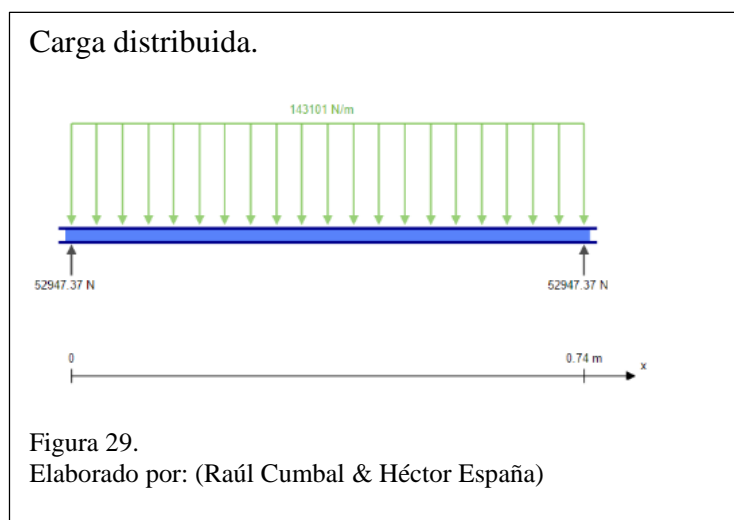


$$P = \text{Fuerza de doblado} + \text{Peso de máquina [N]} \quad (3.16)$$

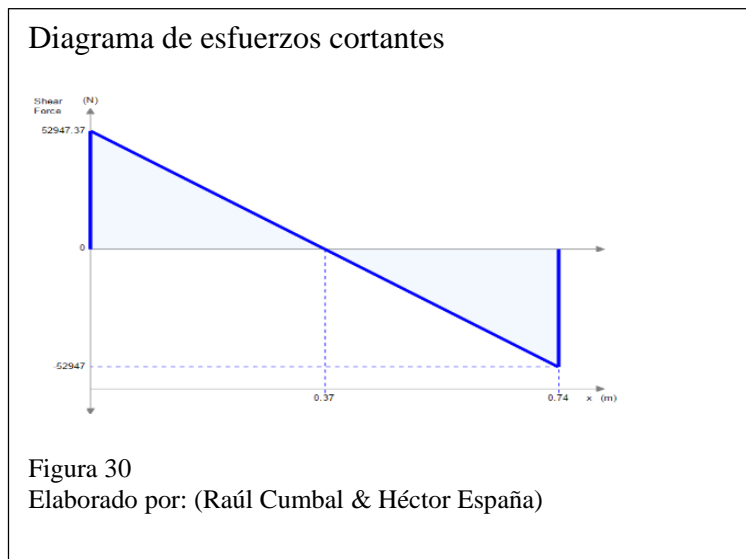
$$P = 141998,86 \text{ [N]} + 1103 \text{ [N]}$$

$$P = 143101,86 \text{ [N]}$$

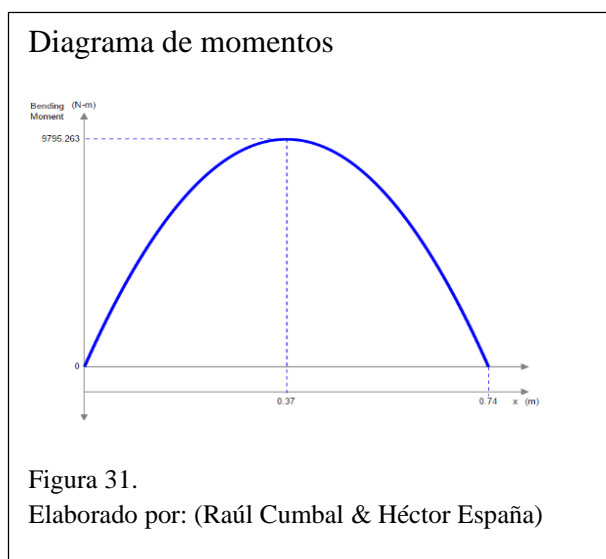
En la figura 29 se representan la carga distribuida presente en un elemento de la bancada.



En la figura 30 se representan los esfuerzos presentes en un elemento de la bancada.



En la figura 31 se representan los momentos presentes en un elemento de la bancada.



Conforme lo señala la ecuación 3.17 se inician los cálculos para la selección del material:

$$S = \frac{M}{\sigma} \quad (3.17)$$

Donde:

S= Módulo de la sección.

M= Momento máximo.

σ = Ezfuerzo a flexion del acero 4340.

$$S = \frac{9,79}{12500000}$$

$$S = 3.91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S = 0.238 \text{ plgs}^3$$

Selección de perfil


<p align="center">Table 1-7 (continued) Angles Properties</p> 											
Shape	Axis Y-Y						Axis Z-Z				Q_e
	I	S	r	\bar{x}	Z	x_p	I	S	r	$\tan \alpha$	$F_y = 36$ ksi
	in. ⁴	in. ³	in.	in.	in. ³	in.	in. ⁴	in. ³	in.		
L2x2x3/8	0.476	0.348	0.591	0.632	0.628	0.342	0.203	0.144	0.386	1.00	1.00
x5/16	0.414	0.298	0.598	0.609	0.536	0.290	0.173	0.122	0.386	1.00	1.00
x1/4	0.346	0.244	0.605	0.586	0.440	0.236	0.141	0.1000	0.387	1.00	1.00
x3/16	0.271	0.188	0.612	0.561	0.338	0.180	0.109	0.0771	0.389	1.00	1.00
x1/8	0.189	0.129	0.620	0.534	0.230	0.123	0.0751	0.0531	0.391	1.00	0.912

Figura 32.

Fuente: (AISC, 2006)

3.2.15. Analisis de soldadura.

Para el diseño de uniones soldadas se calcula la fuerza permisible seleccionando como el material de aporte electrodo E-6011. En la tabla 22 se muestra las características mecánicas del electrodo.

Tabla 22.

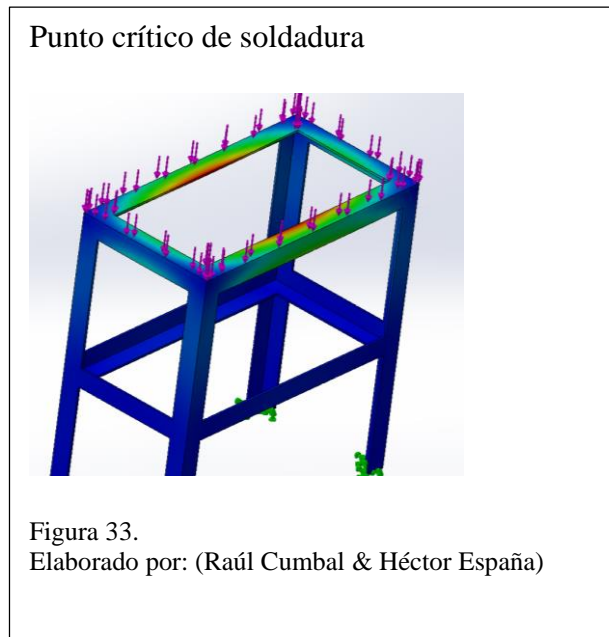
Propiedades mecánicas del electrodo a utilizar

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	44.3 - 52 Kg/mm ² (63 - 74 Ksi)
Límite de fluencia:	36.6 - 42 Kg/mm ² (52 - 60 Ksi)
Elongación:	27 a 35%
Resistencia al impacto Charpy en V a -29 °C:	27-100 joules.

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En base a las fuerzas presentes en la máquina, se toma en cuenta el punto de unión más crítico, es decir, donde existe la mayor cantidad de esfuerzos, en la figura 33 se representa la sección a ser analizada previo a una simulación.



$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.18)$$

$$\sigma = \frac{F}{\cos 45 \cdot h \cdot l}$$

$$\sigma = \frac{143101,86}{\cos 45 \cdot 7,93 \cdot 50}$$

$$\sigma = 127,60 \text{ MPA}$$

$$427 \text{ Mpa} \geq 127,60$$

Es aceptable ya que $S_y \geq \sigma$

3.2.16. Selección de pernos.

Para el diseño de la selección de pernos se toma de referencia un diámetro de 8mm del elemento, se determina su factibilidad y la cantidad de pernos requeridos a través de cálculos.

Dimensiones del perno

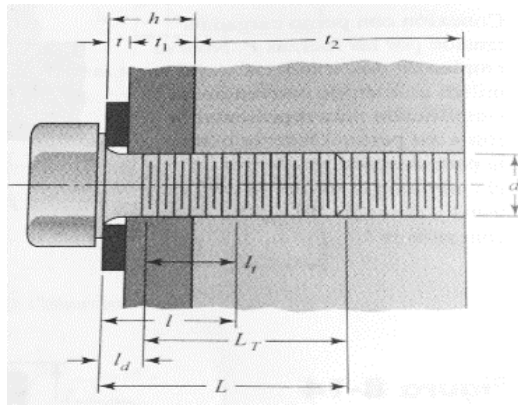


Figura 34.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 412)

Área del perno:

$$Ad = \frac{\pi(\phi)^2}{4} \quad (3.19)$$

$$Ad = \frac{\pi(8mm)^2}{4}$$

$$Ad = 50.27mm^2$$

La longitud rosca (Lt) se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$Lt = 2d + 6mm$$

$$Lt = 22mm$$

Longitud del sujetador (L):

$$L > h + 1,5d$$

$$L = 15mm + 1,5(5mm)$$

$$L = 22,5mm \approx 25mm$$

Se obtiene la longitud de la parte sin rosca en el agarre, designada por (ld):

$$ld = L - Lt$$

$$ld = 3mm$$

Longitud de agarre (l):

$$l = h + \frac{t_2}{2}$$

$$l = 15mm + \frac{2mm}{2}$$

$$l = 16mm$$

Longitud de la parte roscada en el agarre (lt):

$$lt = l - ld$$

$$lt = 16 - 3mm$$

$$lt = 13mm$$

Área de esfuerzo de tensión (A_t), se obtiene de la figura 35:

$$A_t = 36.6mm^2$$

Características de pernos métricos

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0

Figura 35.

Fuente: (G. Budynas & Nisbett, 2012, p. 394)

Se calcula la rigidez efectiva estimada del perno:

Donde: (K_b) = Rigidez efectiva

$$K_b = \frac{A_d \cdot A_t + E}{A_d \cdot lt + A_t \cdot ld}$$

$$K_b = \frac{50.27mm^2 \cdot 36.6mm^2 \cdot 210GPa}{50.27mm^2(13mm) + 36.6mm^2(3mm)} * \frac{1m}{1000mm}$$

$$kb = 0,506 \frac{GN}{m} \quad (3.20)$$

Se calcula la rigidez relativa del perno:

Donde: $(Km) = \text{Rigidez relativa}$

$$km = EdA \exp(Bd/l)$$

$$km = 210 \frac{GN}{m^2} (8 * 10^{-3})(0,787) \exp[(0,628)(8 * 10^{-3})/0,016]$$

$$km = 1.81 \frac{GN}{m} \quad (3.21)$$

Se aplica las ecuaciones (3.20) y (3.21) para calcular la constante de rigidez (C):

$$C = \frac{kb}{kb + km} \quad (3.22)$$

$$C = \frac{0,506}{0,506 + 1,81}$$

$$C = 0.218$$

La precarga se define como (Fi):

$$Fi = 0,75 * At * Sp$$

$$Fi = 0,75(36.6mm^2)600MPa$$

$$Fi = 0,75(3.66 * 10^{-5}m^2)600 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$Fi = 16\,470\,N$$

Se determina la cantidad de pernos (N) necesarios mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{C \cdot ni \cdot Ptotal}{Sp \cdot At - Fi}$$

$$Ptotal = 142\,000\,N$$

$$Sp = 600\,MPa$$

$$At = 36.6mm^2$$

$$Fi = 16\,470\,N$$

$$ni = 2 \text{ (Factor de seguridad)}$$

$$N = \frac{0,218 \cdot 2 \cdot 142\,000\,N}{600MPa \cdot 36.6mm^2 - 16\,470\,N}$$

$$N = 11,27$$

Por lo tanto, se utilizarán 12 pernos M8 para unir la bancada con el cabezal de la máquina.

3.3. Diseño hidráulico

3.3.1. Cálculos y selección del cilindro.

Los cálculos se realizarán en base a la unidad de potencia que proporciona la empresa que cuenta con una presión de hasta 3000 [PSI].

Presión del fluido

$$P = 3000 \text{ [PSI]}$$

Con la siguiente fórmula se calculará la presión adecuada. Además de calculará el diámetro del embolo del cilindro que esté acorde al diseño y que cumpla con las características requeridas.

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

$$P = \text{Presión} \left[\frac{N}{m} \right]$$

$$F = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Área [m}^2\text{]}$$

La fuerza máxima anteriormente calculada para realizar el conformado del material es de:

$$F = 140000 \text{ [N]}$$

$$A = \frac{F}{P}$$

Se despeja de la fórmula anterior el área que va ser calculada y se considera de acuerdo con el diseño un diámetro de 100 milímetros.

$$A = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot 0.1^2}{4}$$

$$A = 0,00785 \text{ [m}^2\text{]}$$

Se calcula la presión que debe realizar el cilindro.

$$P = \frac{140000 [N]}{0,00785 [m^2]}$$

$$P = 17834394,9 \frac{[N]}{[m^2]}$$

$$P = 2586,66 [PSI]$$

Con la siguiente fórmula se calcula el caudal requerido por el cilindro para que su operación pueda realizarse de manera adecuada.

Mediante la fórmula de caudal se tiene que:

$$Q = V \cdot A \quad (3.22)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$V = \text{velocidad del vástago} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$A = \text{Área} [m^2]$$

Mediante la Ecuación 3.22 se calculará el caudal requerido.

$$A = 0,00785 [m^2]$$

Velocidad estimada:

$$V = 0,016 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Por lo tanto, el caudal será:

$$Q = 1,99[GPM]$$

3.3.2. Selección del cilindro hidráulico.

A partir de la figura 36 se selecciona un cilindro de 100 milímetros de diametro con una presión máxima de 250 bares.

Selección del cilindro hidráulico				
D	d	A1	A0	
(mm)	(mm)	(cm ²)	(cm ²)	
100	40	78,54	65,97	
	50		58,91	
	63		47,37	
Modelos		CHA	CHB	CHC
Presión máxima de trabajo		100	160	250

Figura 36.
Fuente:(Barriga Gamarra, 2012)

Se ilustran los datos de una forma más detallada en el **Anexo 4**.

3.3.3. Selección de la central hidráulica.

Se utiliza la figura 37 para seleccionar una central hidráulica que cumpla con los siguientes datos anteriormente calculados que son:

$$Q = 7,536 \left[\frac{l}{min} \right]$$

$$P = 2586,66 [PSI]$$

Selección de la central hidráulica													
Caudal [ccm/s]	Presión de servicio a [l/min]	Potencia nominal [kW]		RF ²⁾ DF ²⁾ LV ²⁾	L ³⁾ V=27l [mm]	L ³⁾ V=40l [mm]	L ³⁾ V=63l [mm]	Peso [kg]			Referencia Volumen del depósito		
		100% ED ¹⁾	40% ED					V=27l	V=40l	V=63l	V=27l	V=40l	V=63l
Central hidráulica con bomba de engranajes – Sentido de giro: a la derecha													
146	8,8	45	60	0,75	RF	683	716	–	35	46	–	8156-120	8156-140
		90	0110	1,5	RF	725	758	808	38	49	55	8157-120	8157-140
		130	160	2,2	RF	760	793	843	45	56	60	8158-120	8158-140
		175	200	3,0	RF	–	793	843	–	60	64	–	8159-140

Figura 37.

Fuente: (ROHEMHELD, 2015)

3.3.4. Selección de válvula para accionamiento.

Se utiliza los datos de la figura 38 para seleccionar una válvula de accionamiento manual de tres vías tres posiciones con una presión máxima de 10 000 PSI y 5 GMP.

Selección de válvula de accionamiento

N° Pedido	Página	*Aplicación del Cilindro	Funcionamiento	VÁLVULAS DE MONTAJE EN BOMBA			Avance/ Retroceso Detenido	Función Posi- Check®
				Tipo de Válvula	Tensión Eléctrica	Avance/ Retroceso		
9500	47	A.S. y A.D.	Manual	4 vías, 3 pos. centro en tándem	—	no	sí	no
9501	47	A.S. y A.D.	Manual	4 vías, 3 pos. centro cerrado	—	no	sí	no
9502	46	A.S.	Manual	3 vías, 3 pos. centro cerrado	—	no	sí	sí
9504	45	A.S. y A.D.	Manual	3 o 4 vías, 2 pos.	—	sí	sí	no
9506	47	A.D.	Manual	4 vías, 3 pos. centro en tándem	—	no	sí	sí
9507	47	A.D.	Manual	4 vías, 3 pos. centro cerrado	—	no	sí	sí
9511	47	A.S. y A.D.	Manual	4 vías, 3 pos. centro abierto	—	sí	sí	no
9512	50	A.D.	Solenoide	4 vías, 3 pos. centro en tándem	24	no	sí	sí
9513	50	A.D.	Solenoide	4 vías, 3 pos. centro en tándem	115	no	sí	sí
9516	50	A.D.	Solenoide	4 vías, 3 pos. centro en tándem	1200	no	sí	sí

Figura 38.

Fuente: (Power Team, 2012)

3.3.5. Selección de manómetro

Se selecciona un manómetro que tenga de alcance de medida mínimo de 2586,66 PSI por lo tanto según la figura 39 se escoge un manómetro de 63 mm con una presión de 200 Kg/cm², equivalente a 2844,67 PSI.

Selección de manómetro

Manómetros 63 mm



MM2-33F

Manómetro diámetro nominal 63mm; caja de acero pintado de negro; cierre a presión; mecanismo y tubo bourdón de latón; visor de acrílico; aguja indicadora de aluminio; clase 3-2-3 %; conexión de latón; rosca 1/4 BSPT posterior; pestaña para tablero cromada; marca BEYCA.

Diferentes Configuraciones:

MANÓMETRO

0-1/2/4/5/7/10/14/20/30/40/70/100/150/200/300/400 (Kg/cm2)

Figura 39.

Fuente: (DISTRITEC, 2015)

Capítulo 4

Análisis económico y financiero

4.1. Análisis económico

Para poder establecer el coste total de fabricación de la máquina se analiza cuatro factores importantes que son los siguientes:

Costos directos

- Costo de materia prima
- Costo de mano de obra
- Costo de máquina
- Costo de insumos

4.1.1. Costos de materia prima.

La materia prima se denomina al material que se lo obtiene en dimensiones brutas para luego ser convertida en el componente requerido. En la tabla 23 se muestra el coste detallado del material con sus respectivas características.

Tabla 23.

Costo de materia prima

Denominación	Cant.	Material	Dimensiones (mm)			Costo \$
			Largo mm	Ancho mm	Espesor / diámetro	
Pared	2	Acero A-36	745	445	12	112,00
Eje inferior	2	Acero 1045	-	500	75	110,66
Eje Superior	1	Acero 1045	-	500	90	77,34
Bocín frontal	2	Acero 1018	-	53	185	42,49
Bocín posterior	2	Acero 1018	-	53	157	42,49
Rodillo superior	2	Acero 4340	-	30	130	33,04
Rodillo inferior	4	Acero 4340	-	30	130	66,08
Placa base inferior	1	Acero A-36	745	239	12	18,30
Placa base superior	1	Acero A-36	445	240	12	11,13
Guía	2	Acero A-36	167	167	75	77,68
Placa Guía	1	Acero A-36	255	155	12	4,30
Rodillo para 100	3	Acero 1045	-	113	165	167,00
Buje de 10	3	Acero 1045	-	13	107	12,00

Buje de 20	6	Acero 1045	-	23	107	35,00
Buje de 40	3	Acero 1045	-	43	107	65,00
Angulo 50X50X6	2	Acero A36	6000	50	6	58,14
Chaveta frontal	2	Acero 1045	125	25	14	20,00
Chaveta posterior	2	Acero 1045	125	16	8	20,00
					Total	\$972,65

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.1.2. Costos de máquina

El coste de máquina se calcula de acuerdo al precio de hora/máquina. En la tabla 24 se muestra el coste detallado del mecanizado de la materia prima con sus respectivas características. A continuación, se detalla el costo de hora/máquina.

Torno \$15,00

Fresadora \$ 15,00

Mortajadora \$ 15,00

Tabla 24.

Costo de máquina

Costos de máquina					
Denominación	Cant.	Horas			Costo \$
		Mortajadora	Torno	Fresadora	
Pared	2	-	-	6	90,00
Eje inferior	2	4	6	-	150,00
Eje Superior	1	-	3	-	45,00
Bocín frontal	2	-	3	-	45,00
Bocín posterior	2	-	2	-	30,00
Rodillo inferior	4	4	4	-	120,00
Rodillo superior	2	-	4	-	60,00
Placa base inferior	1	-	-	2	30,00
Placa base superior	1	-	-	2	30,00
Guía	2	-	4	4	120,00
Placa Guía	1	-	-	1	15,00
Rodillo para 100	3	3	16	-	285,00
Buje de 10	3	2	2	-	60,00
Buje de 20	6	2	2	-	60,00
Buje de 40	3	2	2	-	60,00
°ta frontal	2	-	-	2	60,00

Chaveta posterior	2	-	-	2	60,00
Eje piñón loco	1	-	2	-	30,00
Placas para bancada	4	-	-	2	30,00
TOTAL					\$ 1.380,00

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.1.3. Costos de mano de obra de la máquina

En la tabla 25 se muestra el coste de mano de obra, el costo por hora se establece según (Trabajo, 2015)

Tabla 25.

Costo de mano de obra

Mano de obra		
Horas	Costo/hora	Costo subtotal
187	2,41	450,00
TOTAL		450,00

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.1.4. Costos de insumos

Los insumos son bienes libres de mercadeo que son empleados para la producción de otros bienes. En la tabla 26 se muestra el coste detallado de los insumos adquiridos con sus respectivas características.

Tabla 26.

Costo de insumos

Insumos				
Denominación	Cant.	Dimensiones (mm/diámetro)	Costo/U	Costo total
Rodamiento	4	Ø 125	24,08	96,32
Rodamiento	2	Ø 150	36,33	72,67
Motor reductor	1	2 HP	950,00	950,00
Pernos avellanados	8	M8x40	0,18	1,44
Tuercas	8	M8	0,06	0,48
Cilindro Hidráulico	1	Ø100	600,00	600,00
Central Hidráulica	1	-	1200,00	1200,00
Cadena	1	1"	77,22	77,22

Pernos	20	M12x40	0,24	4,80
Tuercas	4	M12	0,70	2,80
Pernos	4	M14x30	0,30	1,20
Piñón	2	15 dientes	21,41	42,82
Piñón	2	25 dientes	83,03	166,07
Tuercas	3	1" 1/2	4,77	14,31
Arandelas	3	1" 1/2	0,76	2,29
Botonera	1	-	18,00	18,00
Contactor CNC	2	220V 25A X3	16,63	33,26
Relay térmico	1	9-13A	8,57	8,57
Swich de pedal CNC	2	250VAC – 10AMP	18,37	36,74
Luz piloto	2	220V	1,62	3,24
Contactor CNC	1	220V 9AMP	9,86	9,86
Gabinete metálico	1	30x30x16	25,31	25,31
Breaker R/DIN	1	32 AMP	13,38	13,68
Borneras Riel	6	30 AMP	1,87	11,22
Bornera Riel	10	20 AMP	1,65	16,65
Breaker R/DIN	1	3 AMP	9,30	9,30
Total				3.418,25

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

En la tabla 27 se muestra el costo total de los costos directos.

Tabla 27.

Costo total directos

Costos directos	
Costos de materia prima	972,65
Costos de mano de obra	450,00
Costo de máquina	1.380,00
Costo de insumos	3.418,25
Total	6220,90

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Costos indirectos:

- Costo de diseño.
- Gastos indirectos.

4.1.5. Costo de diseño

Para el costo del diseño de la máquina se toma en cuenta la complejidad y la disponibilidad de la máquina en el mercado. Por lo tanto, se tomará una utilidad del 15% según (Aguilar Nasimba & Paredes Pilliza, 2015, pág. 125).

Costo de diseño = costo directo total por el % de utilidad

Costo de diseño = 864,00

4.1.6. Gastos indirectos

Se toma en cuenta los gastos realizados por transporte de material durante la fabricación de la máquina. Se asume un gasto de \$ 200 dólares.

En la tabla 28 se muestra el costo total de los costos indirectos.

Tabla 28.

Costo total indirectos

Costos indirectos	
Costos de diseño	864,00
Costos indirectos	200,00
Total	1064,00

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.1.7. Costo total de fabricación

En la **tabla 29** se muestra el coste total de fabricación de la máquina

Tabla 29.

Costos de fabricación

Costo total de fabricación	
Costos directos	6220,90
Costos indirectos	1064,00
Total	7284,90

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.2. Análisis financiero

Para el análisis y evaluación del proyecto se toma en cuenta la inversión total que se realizó para la construcción de la máquina en la tabla 29 se presentó el costo total de fabricación.

4.2.1. Activo fijo

La máquina es un activo fijo, es decir, pierde su valor inicial de compra por lo tanto se realizará su obligatoria depreciación del activo por el método de línea recta.

En la tabla 30 se muestra las características de la máquina como activo fijo.

Tabla 30.

Activo fijo

Nro.	Activo Fijo	% Depreciación	Valor de desecho	Vida útil
1	Máquina	10%	Costo AF * 10%	10 años

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

$\% \text{ De depreciación} = \text{costo de inversión} - \text{valor de desecho} / \text{vida útil}$

% De depreciación = 6556,41

4.2.2. Mantenimiento del activo fijo

En la tabla 31 se observa cual es el costo total de mantenimiento mensual y anual, se toma de referencia un porcentaje considerable para la máquina.

Tabla 31.

Costo de mantenimiento de la máquina

Activo fijo	Costo del activo	% mantenimiento	\$ mantenimiento mensual / anual
Máquina	7284,90	3	218,55/2622,60

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.2.3. Costo de la tercerización del proceso del conformado

Para realizar la recuperación de inversión del proyecto se tomó en cuenta el valor de gasto mensual del conformado de materiales que se muestra en la tabla 32.

Se tomó referencia que la empresa realiza la fabricación de una carrocería mensual y que la cantidad de tubos a doblar por carrocería es de 120.

Tabla 32.

Costo del proceso de conformado

Número de tubos	Precio unitario	Precio total/mensual	Precio total/anual
120	4,50	540,00	6.480,00

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.2.4. Mano de obra directa

Para la elaboración del proceso del conformado se necesita la ayuda de un operador en la máquina lo que produce un desembolso como se indica en la tabla 33.

Tabla 33.

Costo de mano de obra del conformado

Número de tubos conformados por carrocería	Tiempo de conformado por tubo (min)	Costo por hora	Costo total anual
120	15	\$ 2.41	867,6

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

4.2.5. Servicios básicos (luz)

El costo de KW/h se muestra en la figura 40.

Tarifario Empresa Eléctrica Quito				
B.1.4	SERVICIO INDUSTRIAL ARTESANAL			Esta tarifa se aplicará a los consumidores que utilicen el servicio en trabajo de artesanía o pequeña industria y sea propietario del transformador de distribución.
	0-300		0,072	Por cada kWh de consumo de hasta 300 kWh en el mes.
	301- Superior		0,104	Por cada uno de los siguientes kWh de consumo en el mes.

Figura 40.

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

El tiempo de uso mensual de la máquina es de 30 horas.

$$P = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi}{1000}$$

$$P = \frac{\sqrt{3} * 220 * 9.6 * \cos 0,80}{1000}$$

$$P = 2.53$$

$$Pu = 5.10 \times 0.90 \text{ kwh}$$

$$Pu = 2.27 * 30 = 68.1 \text{ kwh}$$

Costo mensual del servicio es \$ = 49.03

4.2.5. Periodo de recuperacion de inversion

En la tabla 34 se indica el periodo de recuperacion de inversion de la máquina con una tasa 11,30% anual según (Del Ecuador, 2016)

Tabla 34.

Periodo de recuperación de inversión de la máquina

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Costo de conformado	0,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00	6480,00
Egresos											
Mano de obra	0,00	867,60	867,60	867,60	867,60	867,60	867,60	867,60	867,60	867,60	867,60
Servicios básicos	0,00	588,38	588,38	588,38	588,38	588,38	588,38	588,38	588,38	588,38	588,38
Mantenimiento	0,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00	2622,00
Depreciación	0,00	728,49	728,49	728,49	728,49	728,49	728,49	728,49	728,49	728,49	728,49
Flujo Efectivo	-7284,90	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53	1673,53
Valor Presente	-7284,90	1503,62	1350,96	1213,80	1090,57	979,85	880,36	790,98	710,68	638,52	573,70
Payback	0,00	-5611,37	-3937,84	-2264,31	-590,78	1082,75	2756,28	4429,81	6103,34	7776,87	9450,40
VAN											2199,59
TIR											0,19
RB/C											1,34
PAYBACK											-0,35
											4,35

El periodo de recuperacion de inversión del proyecto es de 3,82 años.

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España

Capítulo 5

Construcción y montaje

5.1. Construcción de paredes

Como primera parte se realiza el corte de las paredes según los planos para posteriormente mecanizar de acuerdo al diseño, una parte importante dentro de estos elementos es que se debe mecanizar las ranuras con un buen acabado para que al incrustar las guías no se produzca una elevada fricción como se muestra en la figura 41.

Construcción de paredes



Figura 41.
Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

5.2. Construcción de bocines

Los bocines son fabricados de acero de transmisión 1018 estos se encuentran ubicados en las paredes, los bocines de la parte delantera se realizaron en el diseño con sujeción de pernos lo cual nos permitirá evacuar los ejes y los rodamientos para realizar el respectivo mantenimiento como se muestra en figura 42.

Construcción de bocines



Figura 42.
Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

5.3. Construcción de ejes y rodillos

El material para la fabricación de los ejes es de acero de transmisión 1045, en estos elementos el acabado no es muy riguroso pero la precisión si ya que en la sección donde se colocan los rodillos, estos deben ingresar sin mayor dificultad.

En los ejes inferiores se realiza las ranuras para las chavetas ya que estos ejes realizaran el movimiento rotatorio como se indica en la figura 43.

Construcción de ejes y rodillos



Figura 43.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

5.4. Construcción de guías

Para la construcción de las guías se debe mecanizar con un buen acabado superficial y a escuadra ya que estos elementos se acoplarán a las paredes como se muestra en la figura 44 y realizarán un movimiento vertical el cual debe ser preciso ya que si no podría existir alguna deformación de algún elemento de máquina

Construcción de guías



Figura 44.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

5.5. Construcción de bancada

La bancada es el soporte del cabezal de la máquina, para la construcción de la misma se utiliza ángulo de 50X50X6 como se muestra en la figura 45, de acuerdo con el diseño y los planos se realiza la respectiva fabricación. Se utiliza el proceso GMAW para soldar cada elemento.

Construcción de bancada



Figura 45.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

5.6. Montaje general de los elementos de la máquina

Posterior a la fabricación de todos los mecanismos que conforman a la máquina, además de la adquisición de elementos normalizados se procede al ensamblaje total de la máquina como lo ilustra la figura 46.

Montaje total



Figura 46.

Elaborado por: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Capítulo 6

Análisis de resultados

El análisis de resultados se realiza en función de los cálculos presentados en el Capítulo 3 y las pruebas que se realizaron en la máquina con los diferentes perfiles y tuberías de acuerdo a los espesores que la empresa utiliza en el proceso de producción.

6.1 Movimiento rotacional de los ejes

Mediante los cálculos realizados en el Capítulo 3 se ha obtenido que la potencia ejercida por el motor cumple con las necesidades de arrastre de las tuberías y perfiles analizados.

6.2 Materiales utilizados

Las características de los materiales utilizados en los elementos de la máquina cumplen con su función, en el transcurso de las pruebas realizadas no aconteció mayor novedad en las operaciones.

Los elementos más críticos o relevantes que conforman la máquina son:

Los rodillos: gracias a las características del material empleado se garantiza que no existan deformidades o rupturas debido a la presión ejercida por el cilindro.

Las paredes: bajo el esfuerzo ejercido por el cilindro neumático; el espesor de estos elementos soportan la fuerza evitando deformaciones en la máquina.

Los ejes: con los cálculos realizados en cada sección de los respectivos elementos se evitan deformaciones que puedan alterar el correcto funcionamiento de la máquina.

6.3 Presión ejercida por el cilindro

La presión que ejerce el cilindro al material a doblar es la necesaria para conseguir los radios de curvatura requeridos. Los elementos que conforman el sistema hidráulico garantizan un correcto funcionamiento.

6.4 Tiempo de conformado de los perfiles y tuberías

El proceso de conformado de los tubos tiene un tiempo prudencial, como anteriormente se analizó es por eso que la velocidad de giro de los rodillos es baja, sin

esta variable el material podría tener fracturas en las curvaturas. En la tabla 35 se detallan los tiempos requeridos para realizar las curvaturas diferentes perfiles o tuberías utilizadas

Tabla 35.
Análisis de Tiempo.

Tubería [mm]	Tiempo Promedio[min]	Radio [m]	Presión Promedio [Psi]	Eficiencia de la Central hidráulica [%]
20 x 40 x 2	3	0,53	250	26,6
60 x 40 x 2	2	14,7	300	46,6
Perfil O. 70/40x2	4	4,3	1100	53,3
Diámetro 100x3	10	3,1	1700	80

Nota: (Raúl Cumbal & Héctor España)

Conclusiones

- Se toma en cuenta la nueva implementación para comparar los costos de conformado, es decir a un valor por año de \$867,6; se redujo los costos de transporte, almacenamiento, mano de obra, etc. cuyo valor aproximado en el anterior proceso era de \$6489 al año.
- Se diseñó y construyó una máquina hidráulica semiautomática dobladora de tubos que disminuye los costos de producción de carrocerías, para la empresa “Carrocerías Pedrotti”, se cumple con la expectativa de la empresa.
- Con el estudio del proceso de conformado se garantizó el diseño de la máquina, principalmente la presión que se necesita para el doblado, que en condiciones críticas trabaja con un valor máximo de 2586,66 Psi, se toma en cuenta que la central hidráulica trabaja a una presión máxima de 3000 Psi.
- Al seleccionar los materiales y dimensiones de los elementos que conforman la máquina en base de los cálculos realizados, se toman en cuenta los esfuerzos, geometrías de los materiales y factores de seguridad los cuales permitieron diseñar una máquina sencilla de fabricar, con una adecuada tecnología de acuerdo a la necesidad que presenta la empresa.
- Mediante el análisis económico efectuado, la inversión del proyecto se recuperará a partir del cuarto año, lo que es coherente debido a la alta demanda de su utilización durante el proceso de fabricación de carrocerías.

Recomendaciones

- Las velocidades de giro de los rodillos deben ser las adecuadas, es decir, en un rango de 6 a 18 revoluciones por minuto según máquinas con similares características para que el conformado del material tenga una mejor calidad.
- Para mejorar el empuje del material a través de los rodillos se debe realizar un tratamiento superficial cuyo propósito es aumentar la fricción entre los elementos y así garantizar el funcionamiento de la máquina.
- En la máquina se debe cumplir un adecuado calendario de mantenimiento, principalmente en los elementos que tienen una funcionalidad importante, como son: los rodamientos, los rodillos, las guías de las paredes, además controlar los niveles de aceites tanto en la central hidráulica como en el motoreductor.
- Para evitar el daño de las guías en las paredes, se debe realizar una adecuada lubricación periódica para disminuir la fricción entre las paredes y las placas guías, y así evitar su desgaste e incluso el cambio de los componentes.
- En un futuro se puede implementar un sistema adaptable para utilizar la máquina como una dobladora de láminas de metal ya que cumple con una adecuada potencia y fuerza para conformar dicho material.

Referencias

- Aceros Otero. (29 de Enero de 2015). Obtenido de Aceros Otero:
http://www.acerosotero.cl/acero_aleado_sae_4340.html
- Aguilar Nasimba, O. K., & Paredes Pilliza, J. H. (2015). *Diseño y construcción de una perfiladora de rosillos de cuatro estaciones para laminas de acero galvanizado hasta 0.9mm de espesor y de 96 mm de ancho*. Quito: UPS.
- AISC. (2006). *Steel Construction Manual*. Chicago: Editorial ISBN.
- Barriga Gamarra, B. (2012). *Selección de cilindros y bombas hidráulicas*. Lima: PUCP.
- Bernal Torres, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Bogotá D.C.: Pearson Educación.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D. F.: Mc Graw Hill.
- Bustamante Aravena, H. D. (2010). *Diseño y Cálculo de una máquina curvatura de perfiles para la empresa Metalmecánica AGS*. Concepción: Universidad del Bio-Bio.
- Compromiso, F. (2013). *De la necesidad al servicio*. Buenos Aires: Granica.
- Del Ecuador, B. C. (12 de 01 de 2016). <http://www.bce.fin.ec>. Obtenido de <http://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/148-tasas-de>
- DISTRITEC. (2015). www.distritec.com.ar. Obtenido de <http://www.distritec.com.ar/beyca/pdfs/manometros.pdf>
- Echeverría, J. A. (diciembre de 2011). scielo.sld.cu. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442011000300001&script=sci_arttext
- Fag. (2000). *Rodamientos Fag*. Barcelona: Tecfoto.
- Fajardo, O. (2011). fbusiness.wordpress.com. Obtenido de <https://fbusiness.wordpress.com/2011/12/04/la-priorizacion-estrategica-como-base-de-la-gestion-empresarial/>
- FBJ. (2012). *Tapered Roller Bearings*. tlalnepantla: FBJ.
- Fleitman, J. (2007). *Evaluación integral para implantar modelos de calidad*. Santa Cruz Atoyac: Pax México.
- G. Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: Mc Graw Hill. Recuperado el 01 de 10 de 2015
- Gavidia, U. F. (2011). [isis.ufg](http://www.isis.ufg.edu.sv). Obtenido de <http://www.isis.ufg.edu.sv/wwwisis/documentos/TE/658.4-P438e/658.4-P438e-CAPITULO%20II.pdf>

- Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de Materiales*. México D. F.: Editorial Pearson.
- K., A. (2015). *crecenegocios*. Obtenido de <http://www.crecenegocios.com/las-estrategias-de-una-empresa/>
- Lopez de Prado, R. (21 de Junio de 2001). *Oocities*. Obtenido de <http://www.oocities.org/zaguan2000/metodo.html>
- López Gálvez, C. (2013). *Trazado, corte y conformado*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- MAPCALL, S. (1994). *El plan de negocios*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico D. F.: Editorial Pearson.
- OTM. (30 de Junio de 2015). *OTM Soluciones Industriales*. Obtenido de <http://dobladorasyroladoras.com/TM-025.html>
- Pacheco, D., & Sánchez, H. (2012). *Diseño y Fabricación de máquina dobladora de láminas de acero desde veinte(20) calibre de espesor, para el sector herrero La Sabanita de ciudad Bolivar, Estado Bolivar*. Bolivar: Instituto Universitario de Tecnología del estado Bolivar.
- Pazos Peinado, N. (2005). *Tecnología de los metales y procesos de manufactura*. Caracas: Publicaciones UCAB.
- Plasmatherm. (25 de Mayo de 2015). *Plasmatherm Cutting Systems*. Obtenido de http://www.plasmatherm.com.mx/detalle_producto.php?producto=15
- Power Team. (2012). *www.cecumaq.com*. Obtenido de <http://www.cecumaq.com/pdf/Powerteam/Accesorios/Seleccion%20de%20valvulas.pdf>
- ROHEMHELD. (2015). *Catálogo de centrales hidráulicas*. Obtenido de [roemheld.de: http://www.roemheld.de/ES/roemheld.aspx?cmd=images&csid=126](http://www.roemheld.de/ES/roemheld.aspx?cmd=images&csid=126)
- Sierra, J. P. (23 de julio de 2013). *jorgepablosierra*. Obtenido de <http://jorgepablosierra.com/wp-content/uploads/2013/07/Planeaci%C3%B3n-Estrat%C3%A9gica.pdf>
- slideshare.ne*. (2011). Obtenido de <http://es.slideshare.net/pitosboys/planeacin-estrategica-6827190>
- Tecnomaquinaria. (25 de Mayo de 2015). *Tecnomaquinaria*. Obtenido de <http://www.maquinariacatalogo.com/productos-dobladoras-electromecanicasparatubo-curvac-1500.html>
- Torres, F. (2013). *monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos30/planeacion-financiera/planeacion-financiera.shtml>

- Trabajo, M. D. (2015). *www.trabajo.gob.ec*. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/el-salario-basico-para-el-2015-sera-de-354-dolares/>
- Valdéz, J. L. (2014). *eumed.net*. Obtenido de <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jlcv/index.htm>
- Valencia Clement, G. (2006). *Estructuras de acero introduccion al diseño*. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Wikipedia. (2015). *wikipedia*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Planificaci%C3%B3n_estrat%C3%A9gica
- Zapata, J. (2013). *Diseño de Elementos de Máquinas I*. Piura: Universidad Nacional de Piura.

Plano general

